

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE PROCESU MONTÁŽE POUZDER QFN

OPTIMIZING OF QFN PACKAGE ASSEMBLY PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

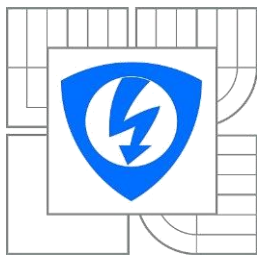
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN ŠVÁB

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. IVAN SZENDIUCH, CSc.

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor

Mikroelektronika

Student: Bc. Martin Šváb

ID: 125126

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace procesu montáže pouzder QFN

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte rešerši v oblasti existence pouzder QFN včetně jejich montáže. Zpracujte přehled současných typů pouzder. Analyzujte vliv tvaru a rozměru pájecích plošek a množství nanesené pájecí pasty na jakost a spolehlivost pájeného spoje. Navrhněte vhodný testovací substrát pro pouzdra QFN16, QFN24, UQFN28, MLF32. Dle časových možností proveďte experimentální zjišťování mechanických vlastností spoje.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

dle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 29.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Anotace:

Tato diplomová práce popisuje technologie montáže pouzder QFN na desky plošných spojů. Dále popisuje vliv tvaru a rozměru pájecích plošek a množství nanesené pájecí pasty na jakost a spolehlivost pájeného spoje. Tato práce v první části shrnuje přehled existujících typů pouzder. Ve druhé části práce byla navržena testovací deska plošných spojů a byly sledovány faktory vedoucí k eliminování chyb a problémů při procesu pájení pouzder QFN.

Abstract:

The Master thesis deals with technology of mounting QFN packages on to the printed circuits boards. Describes also influence of shape and size of soldering pads and the amount of soldering paste with respect to the quality and the reliability. In first part overview of existing packages is summarised. Second part describes design of testing board and the factors which leads to eliminating errors during manufacturing process.

Klíčová slova:

QFN, pouzdro, pájení, přetavení, bezolovnaté pájení, jakost

Keywords:

QFN, package, solder, reflow, lead-free solder, quality

Bibliografická citace:

ŠVÁB, M. *Optimalizace procesu montáže pouzder QFN*. Brno Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 62 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.

Prohlášení autora o původnosti díla:

„Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikovanou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem plně vědom následků porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne **28. května 2014**

.....

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ivanu Szendiuchovi, CSc., dále Ing. Alexandru Otáhalovi a Ing. Martinu Adámkovi Ph.D. Za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a především za trpělivost a cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 28. května 2014

.....
podpis autora

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

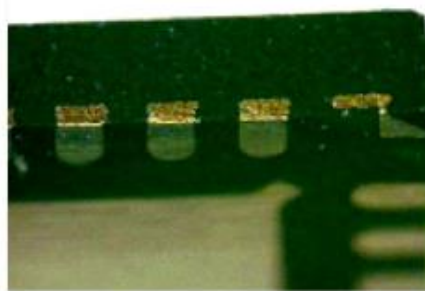
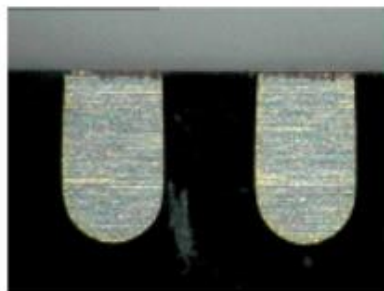
OBSAH

Úvod	8
1 Pouzdro QFN	9
1.1 Rozložení pájecích plošek	11
1.2 Ploška pro odvod tepla	13
2 Databáze pouzder	14
3 Faktory ovlivňující pájitelnost	20
3.1 Proces pájení	21
3.2 Atmosférické podmínky při pájení	22
3.3 Povrchová úprava	22
3.3.1 OSP (Organic Solder Preservatives)	23
3.3.2 Imerzní cín (Immersion Tin)	23
3.3.3 ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold)	24
4 Experimentální část	25
4.1 Návrh testovací DPS pro QFN	25
4.2 Návrh a zhotovení šablony	26
4.3 Volba pájecí pasty	30
4.4 Test zapájených pouzder	33
4.5 Funkční test pouzdra QFN16	38
4.6 Rentgenové snímky testovaných DPS	41
4.7 Mikrovýbrus	44
4.8 Mechanické vlastnosti pájeného spoje	46
5 Závěr	52
6 Seznam použitých zkratk a symbolů	53
7 Seznam použitých zdrojů	54
8 Seznam obrázků	57
9 Seznam tabulek	59
Příloha A	60

Úvod

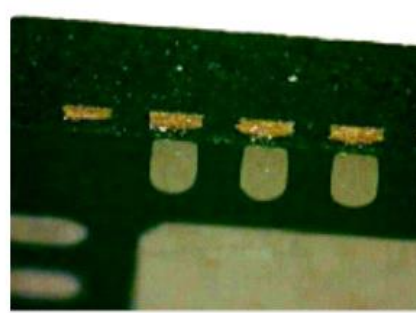
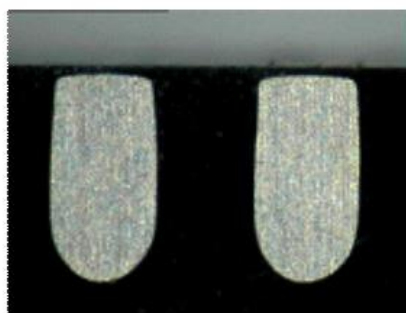
Vývoj elektroniky jde rychle dopředu, elektronická zařízení se zmenšují a modernizují. Zvyšování počtu komponentů na desce plošných spojů vede ke zvyšování hustoty prvků na čipu, a tím i snižováním roztečí mezi vývody na pouzdře. Miniaturizace obvodů nutí návrháře vytvářet menší pouzdra zabírající menší plochu. Nároky při výrobě integrovaného obvodu jsou kladeny na spolehlivost a jakost za co nejmenší cenu. Každé volné místo na desce plošných spojů musí být náležitě využito. Pouzdra jsou minimalizována i tím, že se vyrábějí bezvývodové, a to ze všech čtyř stran. Pájecí kontakty se nacházejí na spodní straně pouzdra, proto je můžeme umístit blíže vedle sebe. Zmenšování a integrace však představují nové problémy. Zajištění dostatečného chlazení malých obvodů řeší pouzdro QFN s chladicí ploškou na spodní straně, která je připájena k desce plošných spojů a odvádí teplo do ovzduší i do desky. Tyto vlastnosti činí QFN ideální volbou pro mnoho nových aplikací, kde velikost, hmotnost, elektrické a teplotní vlastnosti jsou důležité. Jeden z hlavních problémů týkající se montáže elektronických komponentů je v dnešní době nutnost používat bezolovnaté pájky namísto dlouho používaných a ověřených pájecích slitin na bázi SnPb. Technologický proces s pájecí slitinou a snižujícími se rozměry pájecích plošek způsobují různé problémy, jež se vyskytují často jako zkratky nebo nezapájené spoje. Jakost zapájeného kontaktu se diagnostikuje hůře, než u vývodových obvodů. Součástky malých rozměrů mají problém se soutiskem pájecí pasty a sesouhlasením obvodů s pájecími ploškami na desce. Zkvalitněním pájecího procesu pájením v ochranné atmosféře by vedlo ke zvýšení jakosti pájeného spoje za cenu vyšších nákladů.

První část práce je věnována popisu pouzder QFN a je zde na základě dostupných údajů vytvořena databáze těchto pouzder. Byl vytvořen přehled existujících bezvývodových pouzder pájených ze spodní strany stejně jako QFN. Dále jsou popsány základní faktory ovlivňující proces pájení včetně otázky rozmístění plošky pro odvod tepla do nosného substrátu. Druhá část představuje experimentální zjišťování možností pájení pouzder QFN. Jsou přitom brány v úvahu různé faktory, jako je vliv množství nanesené pájecí pasty, návrh motivu šablony na velikost a rozmístění apertur atd. Dále je zde popsáno funkční testování zapájených pouzder po optické a rentgenové inspekci. Na testovaných vzorcích je proveden mechanický destruktivní test stříhem a u vybraných vzorků sledování struktury mikrovýbrusem.



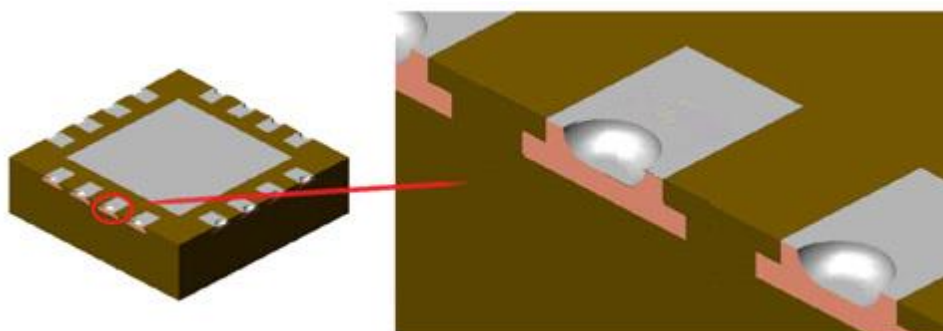
Obr. 2: Tvar kontaktů pouzdra typu „E“ [2]

Typ pouzdra „S“ (tzv. saw) má pájecí plošky pouze na spodní straně, z vrchní strany nejsou vidět. Vyrábí se vystřížením z pásu s několika pouzdry Obr. 3. Konce jsou mírně zapuštěny v pouzdře. Zavedené obvody typu „S“ se udržují a jsou stále podporovány ve výrobě, ale u nových obvodů se používá pouzdro typu „E“. [2]



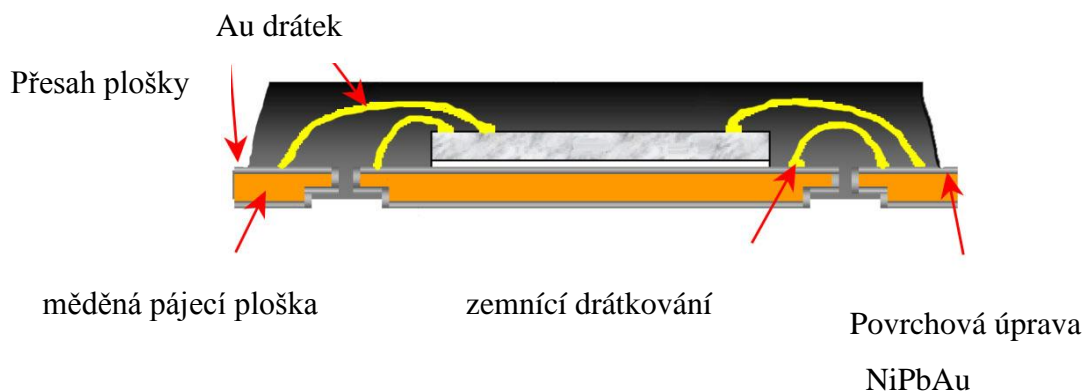
Obr. 3: Tvar kontaktů pouzdra typu „S“ [2]

Typ pouzdra „D“ (z ang. dimpled pad). Pouzdro s kontakty, v nichž jsou mechanicky vytvořeny dolíčky na vyplnění pájkou Obr. 4. Dolíčky slouží k optimalizaci pájecího procesu. Zlepšuje schopnost provádět kontrolu pájených spojů ISJ z ang. inspectable solder joints. Velikost a tvar pájecích plošek mají velký vliv na výběr pájecí pasty, profil přetavení a šablony sounisku.



Obr. 4: Pouzdro typu D s 16. kontakty (6x6 mm) [2]

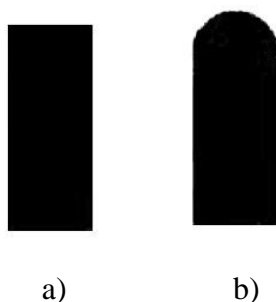
Typ pouzdra Punch má kontakty vyvedené zespodu i po stranách, kde jsou viditelné i z vrchní strany. Jejich vytvoření se provádí vystřížením zapouzdržené součástky z vyrobené série pouzder. Přesah je dobře vidět na Obr.5. [2]



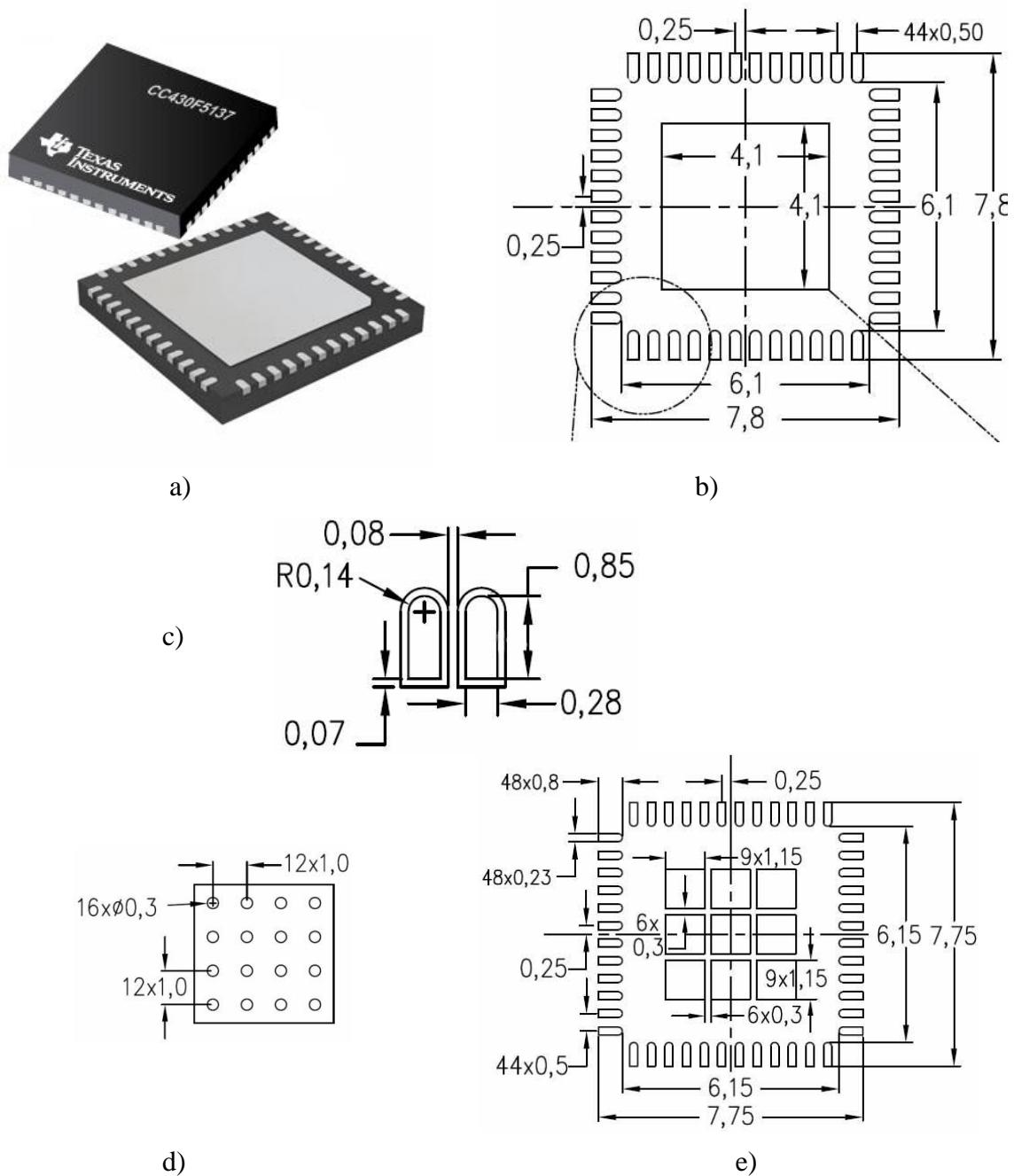
Obr. 5: Pouzdro Punch [2]

1.1 Rozložení pájecích plošek

Pouzdra mající větší počet pájecích plošek se kompenzují zmenšením rozměru plošek. Rozteč mezi kontakty nelze příliš zmenšovat, aby nedocházelo při procesu pájení ke zkratům mezi cestami. Parametry rozměrů si udává každý výrobce své, s ohlednutím na plnění norem IPC a JEDEC. Firma TI (Texas Instrument) doporučuje použití kontaktů z jedné strany zaoblených tzv. prstů (zobrazeno na Obr. 6b), aby se zabránilo pájecímu přemostění (zkratu mezi vývody). Jiné firmy vyrábějí plošky obdélníkové (Obr. 6a), nebo zaoblené na obou stranách. Pájecí maska je širší o 0,07 mm než pájecí kontakt na pouzdře. Doporučené rozměry firmy TI jsou znázorněny na Obr. 7 na 48 vývodovém obvodu. Firma TI doporučuje nanášet pájecí pastu v místě tepelné plošky na 65 % plochy. [1]



Obr. 6: Tvar pájecí plošky na integrovaném obvodu a) obdélníkový tvar plošky, b) zaoblený tvar pájecí plošky – tzv. prst



Obr. 7: Příklad rozmístění kontaktů u pouzdra. QFN48 - MSP430F*RGZ: a) 3D zobrazení pouzdra s 48 kontakty, b) rozměry návrhu DPS, c) detail pájecí plošky a vzdálenosti mezi nimi, d) detail návrhu na teplotní plošku, e) návrh šablony pro pájecí pastu tlusté 0,125mm

[3]

1.2 Ploška pro odvod tepla

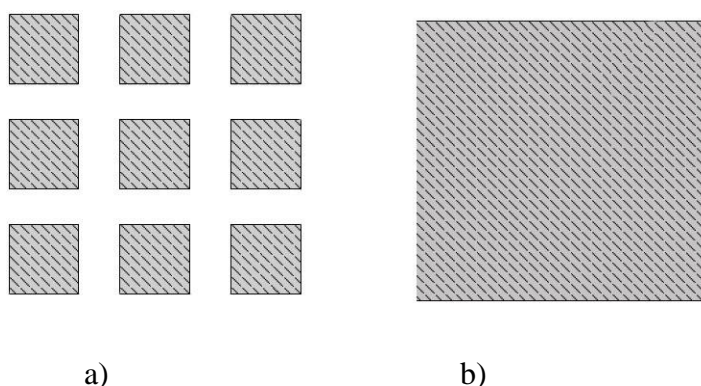
Připájený obvod odvádí teplo z čipu převážně přes pouzdro sáláním vzhůru nebo do DPS pomocí tepelných prokovů. Firma TI doporučuje umístění tepelných prokovů v DPS mezi vrchní a vnitřní měděnou vrstvou. Teplo se rozprostře do desky a je lépe odváděno. Prokovy definovaných rozměrů firmy udávají v katalogových listech konkrétního obvodu. Ve většině případů se doporučuje průměr 0,3 mm nebo méně s roztečí 1 mm viz Obr. 7d. Aby bylo spojení kvalitní mezi vnitřní rovinou a tepelnou ploškou, umístí se měděný kroužek široký 0,05 mm kolem prokovu ve spodní části měděné roviny.

Prokovy mohou být zapojeny, aby se zabránilo ztrátě pájky a zlepšení tepelných vlastností, ale nedoporučuje se z důvodu zvýšení nákladů na výrobu DPS. Při pájení má pájka tendenci smáčet nejprve plochu obvodu a až poté prokovy. Prokovy mohou být také použity v měděné oblasti mimo definované tepelné plošky pájecí masky pomocí tepla přes spodní nebo vnitřní roviny. Jsou-li použity tenké DPS nebo prokovy větší než 0,3 mm, návrháři potom musí používat pouze vnější prokovy, aby se zabránilo ztrátě pájky a výčnělkům. Nekvalitně provedená DPS by vedlo ke snížení kvality tepelných vlastností.

Ke ztrátě pájky a nerovnostem dochází při nadměrném průtoku vnitřními prokovy během zpětného toku. To se obvykle stane, když jsou použity nesprávné velikosti vnitřních prokovů a šablony na otvory. Výsledky ztráty pájky v prokovech výrazně ovlivňuje tepelnou vodivost. Návrháři navrhnou kontrolu x-ray svých zapájených DPS, zda je připájeno nejméně 50 % tepelné plošky při použití 0,125 μm tlusté šablony. Výstupky mohou způsobit nesoulad v šabloně na zadní straně DPS.

Nanesení pájecí pasty na tepelnou plošku znázorňuje použité šrafování Obr. 8a. Mezery mezi vyšrafovanou částí zamezují aplikování nadměrného množství pájecí pasty. Nanášet pájecí pastu bez mezer není od výrobce doporučováno.

[1]

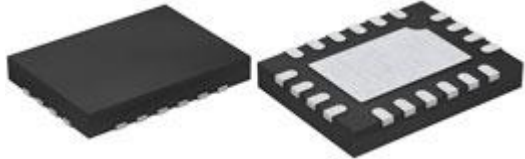


Obr. 8: Ploška pro odvod tepla: a) pájecí pasta rozmístěná do šrafovaného pole, b) nanesená pasta po celé plošce šrafování [1]

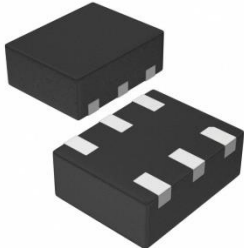
2 Databáze pouzder

Polovodičové čipy se dávají do pouzder různých velikostí podle potřeb rozměrů DPS. Bezvývodová pouzdra se značí podle velikosti pájecích plošek a rozměrů celého pouzdra. Výrobci integrovaných obvodů mají sjednocené značení typů velikosti pouzder, které jsou seřazeny v následující tabulce.


Tab. 1 Přehled velikostí pouzder UTQFN

UTQFN - Ultra Thin Quad Flat No Leads [9][10][11][12][13]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
10	1,4 x 1,8	0,5	0,4
10	1,6 x 2,1	0,5	0,5
16	3 x 3	0,55	0,5
20	3 x 4	0,55	0,5
24	4 x 4	0,55	0,5
28	4 x 4	0,55	0,4


Tab. 2 Přehled velikostí pouzder XDFN

XDFN - Extremely Thin Dual Flat No Leads [14][15][16]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
6	1,2 x 1,2	0,4	0,4
8	1,8 x 2,2	0,4	0,4
8	2 x 2	0,75	0,5
8	2 x 3	0,4	0,5

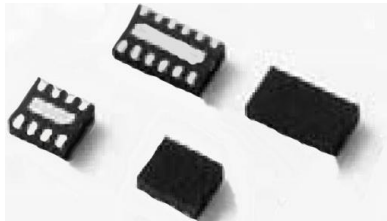
Tab. 3 Přehled velikostí pouzder XQFN

XQFN - Extremely Thin Quad Flat No Leads			
[17][18][19]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
12	2 x 2	0,35	0,25
12	2,5 x 2,5	0,4	0,5
14	2,5 x 2,5	0,35	0,5
20	2,7 x 2,7	0,35	0,4
22	2,4 x 3,3	0,35	0,4
24	2,2 x 2,9	0,35	0,35
36	5 x 5	0,45	0,4

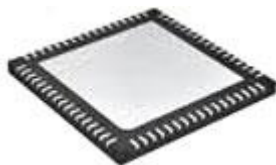
Tab. 4 Přehled velikostí pouzder TDFN

TDFN - Thin Dual Flat No-Lead Package			
[20][21]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
6	3 x 3	0,75	0,95
8	3 x 3	0,75	0,65
8	2 x 2	0,75	0,5
10	2 x 3	0,75	0,5
10	3 x 4	0,75	0,5
14	3 x 3	0,75	0,4
14	3 x 5	0,75	0,4
28	4 x 8	0,75	0,5

Tab. 5 Přehled velikostí pouzder UTDFN


UTDFN - ultra-thin dual flat no-lead package (UDFN, VDFN) [22][23][24][25][26][27][28][29][30][31]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
6	1 x 1,2	0,5	0,4
6	2 x 2	0,75	0,65
6	3 x 3	0,55	0,5
8	1,7 x 1,35	0,5	0,4
8	2 x 2	0,55	0,5
8	5 x 6	0,55	1,27
10	2,6 x 2,6	0,5	0,5
10	2 x 2	0,75	0,4
10	2,5 x 1	0,5	0,5
10	3 x 3	0,55	0,5
12	2,5 x 1,35	0,5	0,4
14	3,5 x 1,35	0,5	0,5
14	3 x 4	0,55	0,5

Tab. 6 Přehled velikostí pouzder TQFN


TQFN - Thin Quad Flat No-Lead Package [32][33][34]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
8	3 x 3	0,75	0,65
16	5 x 5	0,75	0,8
16	3 x 3	0,75	0,4
20	4 x 4	0,75	0,5
20	5 x 5	0,75	0,65
24	4 x 5	0,75	0,5
28	5 x 5	0,75	0,5
32	5 x 5	0,75	0,5
32	7 x 7	0,75	0,65

36	6 x 6	0,75	0,5
40	5 x 5	0,75	0,4
44	7 x 7	0,75	0,5
48	7 x 7	0,75	0,5
48	6 x 8	0,75	0,5
56	7 x 7	0,75	0,4
68	10 x 10	0,75	0,5

Tab. 7 Přehled velikostí pouzder MLF

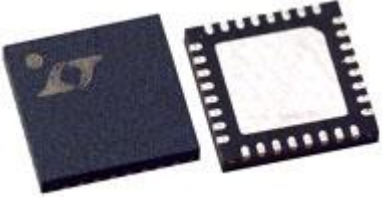
MLF - Micro-Lead Frame [35][36][37][38][39]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
8	3 x 3	0,9	0,65
10	3 x 3	0,9	0,5
16	3 x 3	0,85	0,5
20	4 x 4	0,75	0,5
32	5 x 5	0,9	0,5
64	9 x 9	0,9	0,5

Tab. 8 Přehled velikostí pouzder DRMLF


DRMLF - Dual-Row Micro-Lead Frame Package (DRQFN) [43][42][41][40]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
44 (20/22)	5 x 5	0,9	0,7
64 (30/34)	7 x 7	0,9	0,65
84(36/48)	9 x 9	0,9	0,65
108(52/56)	9 x 9	0,9	0,5

116 (52/64)	9 x 9	0,9	0,5
100 (44/56)	10 x 10	0,9	0,65
124 (60/64)	10 x 10	0,9	0,5
132 (60/72)	10 x 10	0,9	0,5
108 (48/60)	12 x 12	0,9	0,65
156 (76/80)	12 x 12	0,9	0,5
164 (76/88)	12 x 12	0,9	0,5
172 (80/92)	13 x 13	0,9	0,5

Tab. 9 Přehled velikosti pouzder QFN

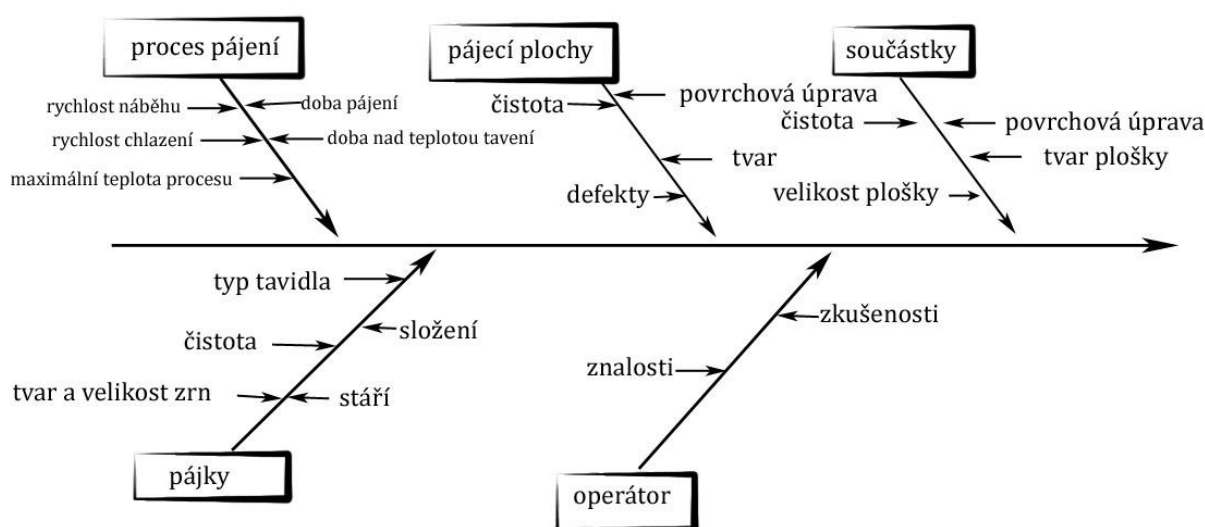
<p>QFN - Quad Flatpack No-lead</p> <p>[44][45][46][47][52]</p>			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
6		0,9	0,95
8	2 x 2	0,9	0,5
12	3 x 3	0,9	0,5
16	4 x 4	0,9	0,65
16	3 x 3	0,9	0,5
20	4 x 4	0,9	0,5
24	4 x 4	0,9	0,5
32	5 x 5	0,9	0,5
48	7,8 x 7,8	0,9	0,5
50	5 x 10	0,9	0,5
64	9 x 9	0,9	0,5
72	10 x 10	0,9	0,5

Tab. 10 Přehled velikosti pouzder VFQFN

VFQFN - Very Thin Fine Quad Flat No Lead Package			
[48][52][53][54][55][56]			
počet vývodů	rozměr pouzdra [mm]	síla pouzdra [mm]	vzdálenost mezi kontakty [mm]
15	2 x 3	0,9	0,5
16	3 x 3	0,9	0,5
14	3,5 x 3,5	0,9	0,5
16	4 x 3,5	0,9	0,5
20	4 x 4	0,9	0,5
20	4,5 x 3,5	0,9	0,5
32	11 x 9	2,8	0,9
32	5 x 5	0,9	0,5

3 Faktory ovlivňující pájitelnost

Činitelé podílející se na jakosti pájeného spoje u pouzder QFN jsou vyobrazeny v Ishikawa diagramu na Obr. 9. První činitel kvality pochází z principu pájení přetavením, který se používá, jak již bylo zmíněno, nejčastěji. Ovlivňující faktor je celková doba pájení, čas strávený nad teplotou tavení pájky, maximální teplota dosažená během procesu. Rychlost náběhu a rychlost chlazení dle charakteristiky dané pájecí pasty. Následné vlastnosti pájkových zrn jako je typ tavidla, složení, čistota a stáří se dají charakterizovat jako jedny z důležitých parametrů, jelikož přímo ovlivňují výsledný pájený spoj. Tvar spoje by měl být stejný, což bývá většinou kontrolováno a dodržováno.



Obr. 9: Ishikawa diagram s činnosti ovlivňující kvalitu pájeného spoje

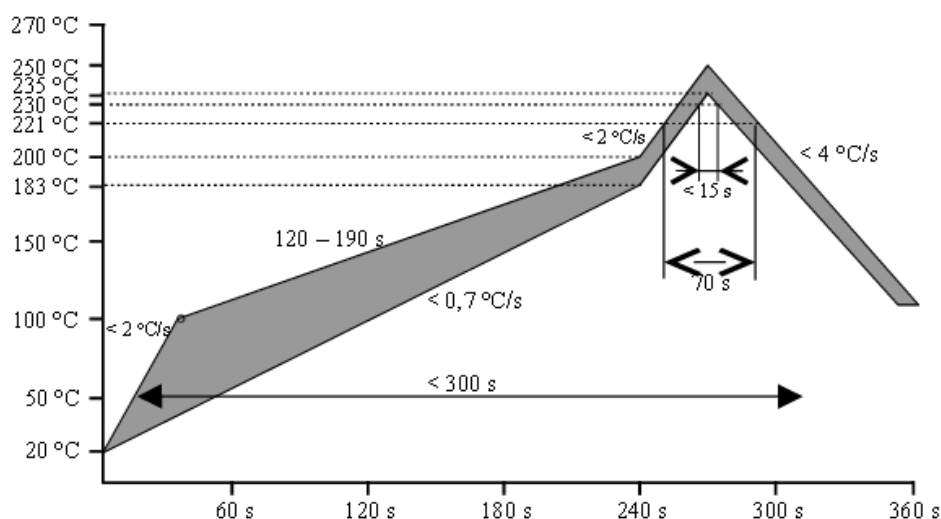
Pájené plochy musí mít správnou povrchovou úpravu. Pro kvalitu spoje je rozhodující čistota a tvar pájené plošky. Defekty bývají většinou způsobeny při procesu výroby nebo jejich úprav, a to má zásadní vliv na výslednou jakost výrobku. Výrobní proces musí být nastaven správně ve všech detailech. Pracovník obsluhující stroj musí být řádně proškolen a zaučen. Je důležité správně sesouhlasit šablonu s pájecími ploškami na DPS, aby souhlasily vývody. Znalost a zkušenost operátora obsluhující osazovací stroj je rozhodující pro výslednou jakost.

Včasné odstranění defektů nám ušetří spoustu času a finančních prostředků. Je-li obvod již zapájen, jeho oprava je nákladnější, než kdybychom problém odstranili včas.

3.1 Proces pájení

S ohledem na životní prostředí se podle legislativy Evropské unie omezilo množství nebezpečných látek ve všech zařízeních. Za nebezpečné látky jsou považovány těžké kovy, mezi něž patří také olovo. Řešením je používání bezolovnaté pájky.

Pájení bezvývodových součástek se provádí technologií přetavením. U pouzder mající kontakty na spodní straně je to nejefektivnější způsob pájení, jako je tomu u QFN. Podmínkou dosažení kvalitního pájeného spoje je dodržet co nejpřesněji doporučená teplotní kritéria při pájecím profilu. Stanovení optimálního teplotního profilu (závislost průběhu teploty na čase) prochází jistým vývojem. Optimální teplotní profil, se rozumí takový profil, který zajistí maximální jakost a spolehlivost pájeného spoje. Zachytit všechny technologické faktory působící v procesu pájení je velmi obtížné. Každá pájka nebo pájecí pasta má v katalogovém listu pájecí profil, kterého se musíme držet. Doporučený teplotní profil, včetně doby a rychlosti ohřevu pro bezolovnaté slitiny pájky je zobrazen na Obr. 10. Je nutné dodržet strmost náběhu teploty, dobu předehřevu kvůli aktivaci tavidla, maximální teplotu, čas strávený nad teplotou tavení a pokles na konci procesu. [57]



Obr. 10: Doporučený pájecí profil pro bezolovnaté pájky [57]

Bod tavení většiny bezolovnatých pájek se pohybuje v rozmezích 215°C – 220°C a teplota plně tekutého stavu se pohybuje v rozmezí 225°C – 235°C. Jelikož maximální možná teplota DPS zůstává stejná, zúží se teplotní rozsah průběhu procesu na $\Delta T = (15 - 25)^\circ\text{C}$. Tento užší rozsah teplot vyžaduje, aby pec pro přetavení fungovala s vyšší úrovní schopnosti reprodukce, přesnosti a přesným dávkováním energie. Kromě vyšších teplot vyžaduje většina bezolovnatých past prodlouženou dobu setrvání v tekutém stavu, obvykle 60 až 90 sekund oproti tradičním 40 až 60 sekundám. [57]

3.2 Atmosférické podmínky při pájení

Pájení při „normální“ atmosféře za přítomnosti kyslíku je provázáno rychlou oxidací vznikajícího pájeného spoje. Tento jev má velký vliv na pevnost, elektrickou vodivost a celkovou kvalitu pájeného spoje. Řešením oxidace je zabránit přísunu kyslíku, toto se děje pomocí dusíkové atmosféry. Udržet dostatečně malou koncentraci kyslíku je finančně nákladný proces. Přetavovací pece dosahují s dusíkovou atmosférou méně než 100 ppm kyslíku v oblasti pájení.

Výhody dusíkové atmosféry:

- Lepší roztékavost pájky
- Minimální oxidace pájeného spoje
- Menší aktivace tavidla, a tím menší množství tavidlových zbytků
- Lepší čištění (nezoxidovaných) tavidlových zbytků

Nevýhody:

- Vyšší cena procesu

V dusíkové atmosféře se pájí strojně i ručně. Pájí se pomocí pájecí stanice, která má dusíkový zákryt. Dusík zde představuje dostatečný zdroj tepla – plyn se ohřívá při průchodu pájecího pera kolem celého pájecího hrotu a zabraňuje přístupu kyslíku k pájenému místu. Nedochází pak k oxidaci pájky a díky přenosu tepla plynem můžeme pájet s cca 20 stupňů nižší teplotou. Výsledný spoj vytvořený bezolovnatou pájkou je pak velmi podobný spoji vytvořenému pájkou s obsahem olova.

3.3 Povrchová úprava

Musíme věnovat pozornost přípravě plošek na DPS před samotným zapájením součástek. Na ploškách DPS by měla být zajištěna potřebná povrchová úprava, aby nedocházelo k odsmáčení pájky při pájení vlivem zoxidované mědi na povrchu. Zajištění správné manipulace se eliminuje možná kontaminace desky s lidským potem a vlhkostí, který by povrch narušil. Povrchovou úpravou bychom měli zabránit znehodnocení DPS před nežádoucími vlivy. Nanesení povrchové úpravy OSP (z ang. spojení slov Organic Solder Preservatives) nebo některá z dalších metod kompatibilní s použitím bezolovnaté pájky. U pouzder je důležitým parametrem rovinatost pájecích plošek, což nesplňuje povrchová úprava pocínováním HAL. Nejčastěji se používá OSP, imerzní cín a ENIG. Důležitý parametr pro volbu povrchové úpravy není jen rovinatost, ale také cena a doba skladování před pájením.

3.3.1 OSP (Organic Solder Preservatives)

Metoda povrchové úpravy OSP je vytvořena chemicky nanášením organických inhibitorů oxidace mědi na odhalený měděný povrch DPS, zpravidla po tisku nepájivé masky. Používají se látky na bázi benzoimidazolů. Vrstvy jsou fixovány slabými Van der Waľovými silami. Povrch OSP se používá nejvíce pro jednostranné DPS. Metodu OSP lze použít i na vícevrstvé desky, ale ty mohou projít pouze dvěma procesy pájení. Průchod pájecím zařízením snižuje životnost vrstvy OSP a další pájení je nutno provést co nejdříve.

Výhody OSP:

- Výborná rovinatost povrchu
- Bezolovnaté pájení
- Pájení za použití běžných tavidel
- Nevzniká intermetalická vrstva

Nevýhody OSP:

- Krátká doba skladovatelnosti (6 měsíců)
- Maximální dvojnásobný tepelný cyklus

[5]

3.3.2 Imerzní cín (Immersion Tin)

Imerzní cín se tvoří selektivní metodou cínování měděných povrchů a odpovídá všem moderním požadavkům na plošné spoje. Je znám pod názvem chemický cín (Ormecon).

Jeho první složkou je disperze organického kovu, která se nanáší jako mezivrstva mezi měď a cín. To zajišťuje optimální přípravu pro následné chemické cínování. Tato vrstva o tloušťce 0,08 μm , zabraňuje difuzi mědi do cínu a udržuje tak schopnost pájení cínového povrchu po dobu potřebnou v praxi.

Druhou složkou imerzního cínu je chemická cínová lázeň. Na již nanesenou mezivrstvu Ormeconu nanese tenkou rovnoměrnou vrstvu cínu o síle 0,8 μm . Vznikne zde matná, stříbřitá a rovná vrstva cínu. Tento povrch má oproti ostatním metodám prakticky samé výhody. Pájení je vhodné pouze bezolovnatými pájkami s čistým zacházením s materiálem. Desky je třeba ihned po rozbalení osadit. Poměrně tenká vrstva kovu na mědi se může vlivem mastnoty z rukou rychle narušit.

Výhody imerzního cínu:

- Vícenásobný teplotní cyklus
- Výborná rovinnost povrchu
- Dlouhá doba skladovatelnosti (12 měsíců)
- Bezolovnatý proces

[6]

3.3.3 ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold)

ENIG vzniká nanesením 3 – 6 μm chemického niklu, poté na tuto vrstvu nanese 0,6 – 0,1 μm zlata. Technologie ENIG může mít problémy s oddělením pájeného spoje od vrstvy niklu. Tento nejznámější defekt se nazývá „Black Pad“ (černá pájecí ploška).

Výhody ENIG:

- Výborná rovinnost
- Vynikající odolnost proti korozi
- Dlouhá doba skladovatelnosti (12 měsíců)
- Výborná pájitelnost
- Bezolovnaté pájení
- Možnost kontaktování
- Možnost vícenásobného pájení

Nevýhody ENIG:

- Dražší výroba
- Výskyt „Black Pad“

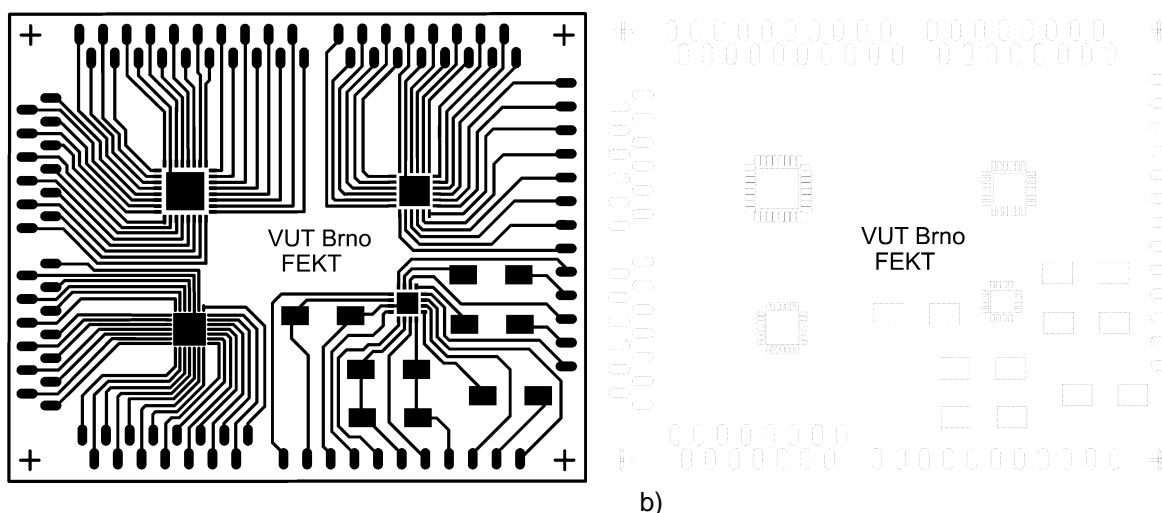
[7]

4 Experimentální část

Proces pájení pouzder QFN je následně testován na navrhnuté DPS se čtyřmi různými typy pouzder. Návrh byl vytvořen v programu EAGLE verzi 6.5.0. Pouzdra byla zvolena podle zvýšených problémů s jakostí, s ohledem na dostupnost a pořizovací cenu pouzdra. Jedná se o čtyři typy pouzder - MLF s 32 kontakty o rozměrech 5 x 5 mm od firmy Atmel (značené ATmega8A-MU) [39], QFN s 24 kontakty o rozměrech 4 x 4 mm (značené USB 2.0 HI-SPEED ULPI TRX) [49], QFN s 16 kontakty o rozměrech 3 x 3 mm (značené WM9001 Driver, speaker, class AB/D) [51], UQFN s 28 kontakty o rozměrech 4 x 4 mm (značené PIC16LF1826) [50].

4.1 Návrh testovací DPS pro QFN

Pro testy byl vybrán substrát FR4. Návrh DPS byl přizpůsoben k lepšímu měření zkratů mezi kontakty a tepelnou ploškou vytvořením zvětšených plošek vyvedených dál od pouzdra. Rozmístění pouzder na substrátu je patrné na Obr. 11. Ploška pro odvod tepla připojující se na zem je spojena na jeden z okolních kontaktů. V levém horním rohu je umístěn MLF 32, v pravém horním rohu je umístěn QFN 24, v dolním levém rohu je místo pro pájení UQFN 28 a QFN 16 má místo pro pájení v pravé spodní části substrátu. Návrh v programu EAGLE a gerber data pro zadání do výroby je přiložen na CD.



Obr. 11: Motív pro výrobu DPS: a) vodivé cesty, b) nepájivá maska

Navržená deska byla zhotovena ve spol. ČeMeBo s.r.o. ve dvou variantách, a to s prokovy v místě chladicí plošky o průměru 0,44 mm (konstrukční třída 5) a variantu bez prokovů. Každá varianta byla vyrobena v počtu 20 kusů. Při návrhu bylo počítáno s nepájivou

maskou zabraňující oxidaci a nechtěnými zkraty mezi vodivými cestami a kontakty. Měděná plocha na spodní straně desky zůstala bez povrchové úpravy. Na kontakty bude nanášena pájecí pasta pomocí navržené šablony. Aby nedocházelo k oxidaci měděných pájecích plošek a znehodnocení procesu pájení, byl povrch kontaktů jsme upraven povrchovou úpravou OSP s ohledem na rovinatost povrchu a ceny materiálu. Abychom mohli obvod elektricky zatížit při zvýšené teplotě elektrického namáhání, můžou být k obvodu QFN 16 připojeny externí komponenty.

Tab. 11 Parametry vytvořeného substrátu

Parametr	Rozměr (další parametry)
Tloušťka substrátu	1,5 mm - FR4
Tloušťka mědi	35 μm
Velikost substrátu	50 x 40 mm
Nejmenší vzdálenost mezi pájecími ploškami	150 μm
Nejtenčí rozměr pájecí plošky	250 μm
Šířka čáry	250 μm
Povrchová úprava	OSP (Organic Solder Preservatives)
Počet vývodů	QFN-16, 24/ UQFN - 28 / MLF - 32
Tloušťka OSP	0,1 – 0,6 μm
Vrtané otvory na prokovy	0,5 mm

4.2 Návrh a zhotovení šablony

Nanesení pájecí pasty bylo provedeno nerezovou šablonou (Nerez X5CrNi18-10) s chemicky vyleptanými otvory. Cenově je mírně dražší, ale má 10x vyšší životnost při tisku proti ostatním materiálům a kolmější hrany plošek, protože se podleptává o poloviční hodnoty než barevné kovy. Je tak vhodná pro velké série tisků. Životnost je cca 500 000 tisků.

Tloušťka šablony byla zvolena 125 μm podle nejmenšího potřebného otvoru pro nanesení pájecí pasty. Šablonu zhotovenou spol. Jiří Riedel – SEMACH, plošné spoje byla upravena na rozměry 400 x 500 mm pro umístění do rámu. Rám vyžadoval přesné rozměry na otvory na uchycovací kolíky v rámu. Potřebné rozměry lze vyčíst z Obr. 13. Na plochu nerezové šablony (Nerez X5CrNi18-10) byl rozmístěn motiv pro pájecí pastu tak, aby šířka těrky zabrala celý rozsah motivu. Rozložení motivu na šabloně je zobrazeno s popisky na

Obr. 13. Šablona pro výrobu je navržena se čtyřmi různými motivy a vyrobena procesem leptání. Velikost otvorů omezuje množství nanesené pájecí pasty, rychlost ani přítlak množství pasty neovlivní. Tloušťka šablony t se volí podle rozměrů motivu, přičemž kritický je minimální rozměr. Platí obecné pravidlo, že nejmenší rozměr pravoúhlého motivu musí být více než 0,66 tloušťky šablony, což lze vyjádřit vztahem (1). Tento poměr vyjadřuje hledisko bezpečnosti pro přenos pasty šablonou, avšak může být ovlivněn dalšími faktory,

jako je velikost zrn pasty, drsnost substrátu atd. Špatný poměr šířky a tloušťky by měl za následek uvíznutí pasty v apertuře a neuchycení na měděné plošce DPS.

$$X_{min}: t = \frac{\text{šířka apertury}}{\text{tloušťka šablony}} \quad (1)$$

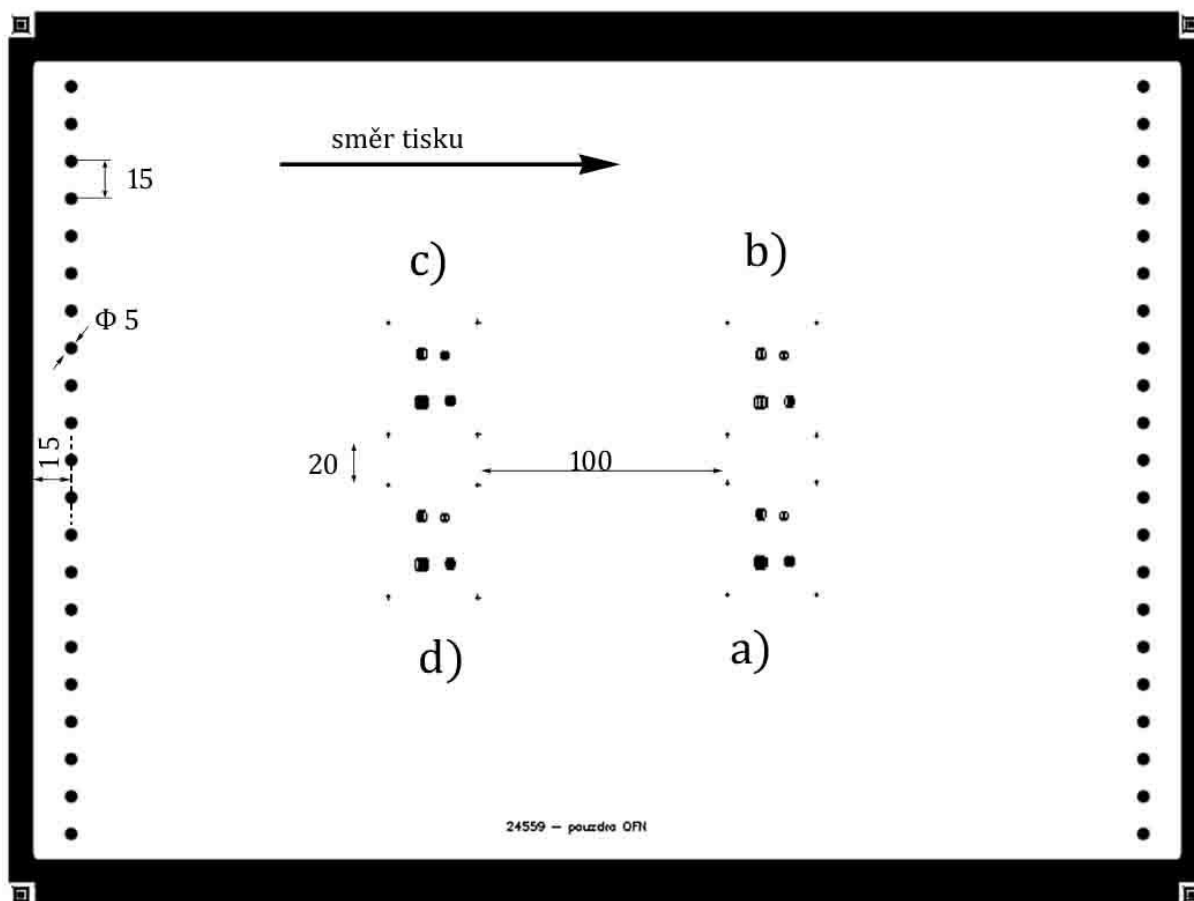
Pro přesnější určení se používá vztah, jenž uvažuje plochu nanášeného motivu ($l \times w$) a je vyjádřením poměru plochy motivu k ploše vnitřních stěn motivu na šabloně. Pro pravoúhlý tvar tedy platí vztah (2), kde l je délka apertury, w šířka apertury a t je tloušťka apertury. [58]

$$\text{poměr plochy} = \frac{l \times w}{2 \times (l \times t) + 2 \times (w \times t)} \quad (2)$$

Vyrobená šablona na Obr. 13 se upne do rámu v zařízení Uniprint PM Go3V zobrazeném na Obr. 12. Zařízení šablonového tisku je vybaveno přesným kamerovým systémem na vyrovnaní značek pro sesouhlasení tištěného motivu. Rychlost pohybu těrky při tisku bylo nastaveno na rychlostní stupeň číslo 5. Směr pohybu těrky znázorňuje šipka v návrhu na Obr. 13. Po zkušebním natisknutí pasty a nedokonalém tisku pasty na desky se přidal druhý pohyb těrky i na zpáteční stranu.

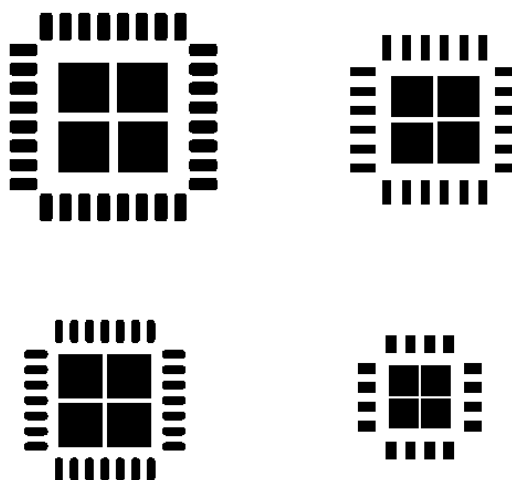


Obr. 12: Zařízení Uniprint PM Go 3V – šablonový tisk



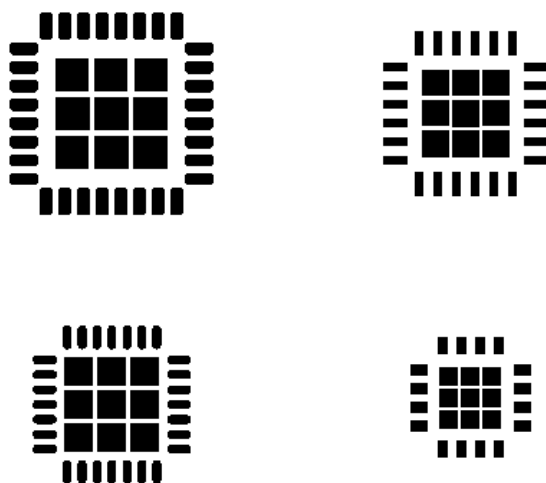
Obr. 13: Šablona z materiálu Nerez - X5CrNi18-10 s motivem a pomocními otvory pro uchycení do rámu

Motiv značený na Obr. 13 a) je navržen s tepelnou ploškou rozdělenou na čtyři části tak, aby plocha pájecí pasty vyplnila měděnou plošku z 80 %.



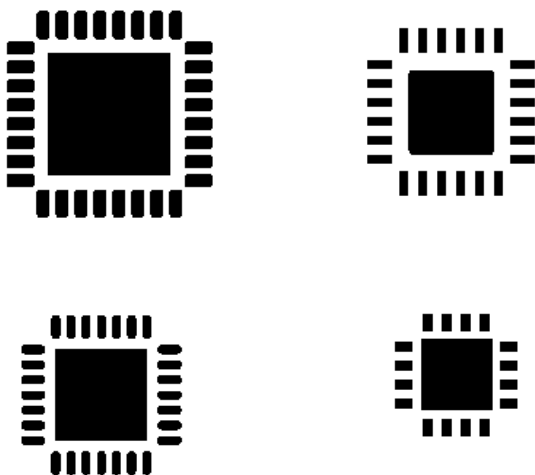
Obr. 14: Motiv vyleptaný do šablony – ploška pro odvod tepla je obsazena pastou z 80 %

Motiv znázorněný na Obr. 13 b) je rozdělen na devět dílů zaplňující měděnou plošku z 68 %. Detailnější pohled je vidět na následujícím obrázku Obr. 15.



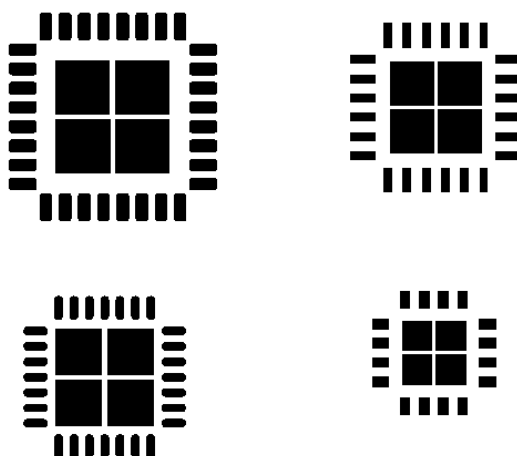
Obr. 15: Motiv vyleptaný do šablony – ploška pro odvod tepla obsazena pájecí pastou z 68 %

Motiv znázorněný na Obr. 13c) je zachován z návrhového programu EAGLE verze 6.5.0. s celistvou vrstvou pájecí pasty pro tepelnou plošku. Detailní zobrazení motivu je vidět na následujícím obrázku Obr. 16. U pouzdra MLF 32 pájecí pasta zaplní 100 % měděné plošky. Pouzdro QFN 24 má měděnou tepelnou plošku zaplněnou pájecí pastou na 90 %, UQFN 28 na 87 % a pouzdro QFN 16 má měděnou tepelnou plošku zaplněnou na 95 %.



Obr. 16: Motiv vyleptaný do šablony s nerozdělenou vrstvou pájecí pasty

Motiv znázorněný na Obr. 13 d) je rozdělen na čtyři části zaplňující měděnou plošku z 68 %. Detailnější pohled je vidět na následujícím obrázku Obr. 17.



Obr. 17: Motiv vyleptaný do šablony – měděná ploška pro odvod tepla obsazená pájecí pastou z 68 %

Výpočet zaplnění tepelné plošky pájecí pastou při tisku lze vypočítat podle vztahu (1). Výsledné množství bylo rozděleno na čtyři nebo na devět částí a rozmístěno na měděnou plošku vycentrováním do středu, aby z každé strany apertury byla stejná mezera.

$$\text{množství pasty na tepelné plošce} = 100 \times \frac{\text{obsah měděné plošky} - \text{obsah apertury}}{\text{velikost měděné plošky}} [\%] \quad (3)$$

4.3 Volba pájecí pasty

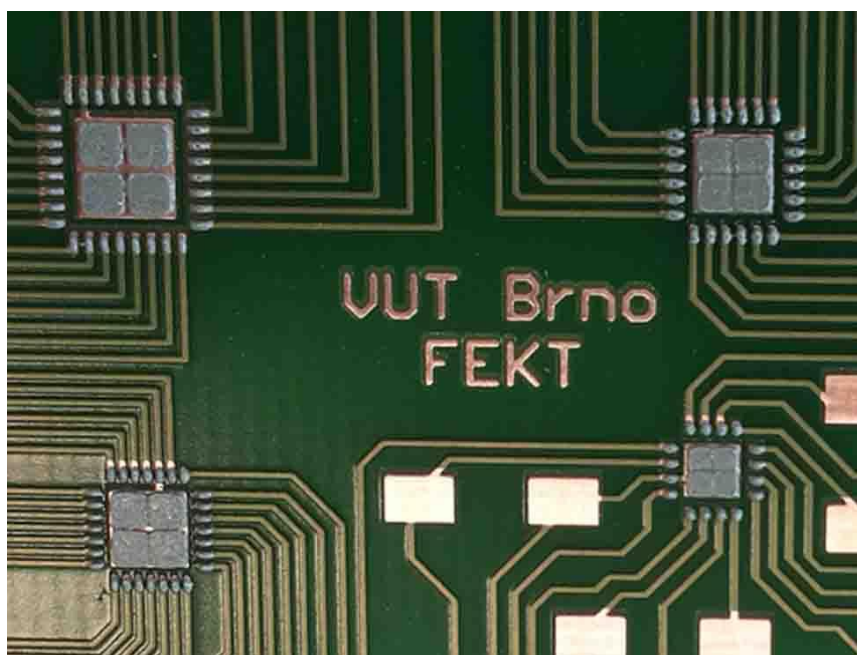
S ohledem na velikost apertury v šabloně a dostupnost pájecí pasty byla zvolena pájecí pasta typu 4 s velikostí zrn 20 - 38 μm . Pájecí pasta byla zvolena s přihlédnutím na dostupnost a šetrnost životnímu prostředí. Složení Sn-Ag3-Cu0,5 od výrobce Almit, značená AFM-48W TM-HP (L). Obsah tavidla v obsahu je 12 % přírodní pryskyřice RO. Tato pasta odpovídá procesu bez čištění po pájení, nicméně pokud je zapotřebí, čištění se může provést. Přetavení pasty se provádí postupným ohříváním 1-2 $^{\circ}\text{C}/\text{sekundu}$ až do dosažení 120 $^{\circ}\text{C}$. Přehřev vrcholu se nastaví na 170 – 190 $^{\circ}\text{C}$. Vrchol přetavení je v rozmezí 230 – 250 $^{\circ}\text{C}$. Další informace o vlastnostech pájecí pasty udávané výrobcem lze získat z datového listu. [59]

Na testovací DPS do natištěné pasty Obr. 19 byla umístěna pouzdra pomocí optického hranolu, který je obsažen v zařízení pro ruční osazení na Obr. 18. Vakuovou pipetou se uchopí pouzdro a na vzduchovém polštáři se posune manipulační stoleček s osazovanou DPS

na požadované místo. Sesouhlasení plošek na pouzdře s ploškami na DPS se provádí na monitoru přes optický hranol a kameru.



Obr. 18: Zařízení pro ruční osazování pouzder SMD



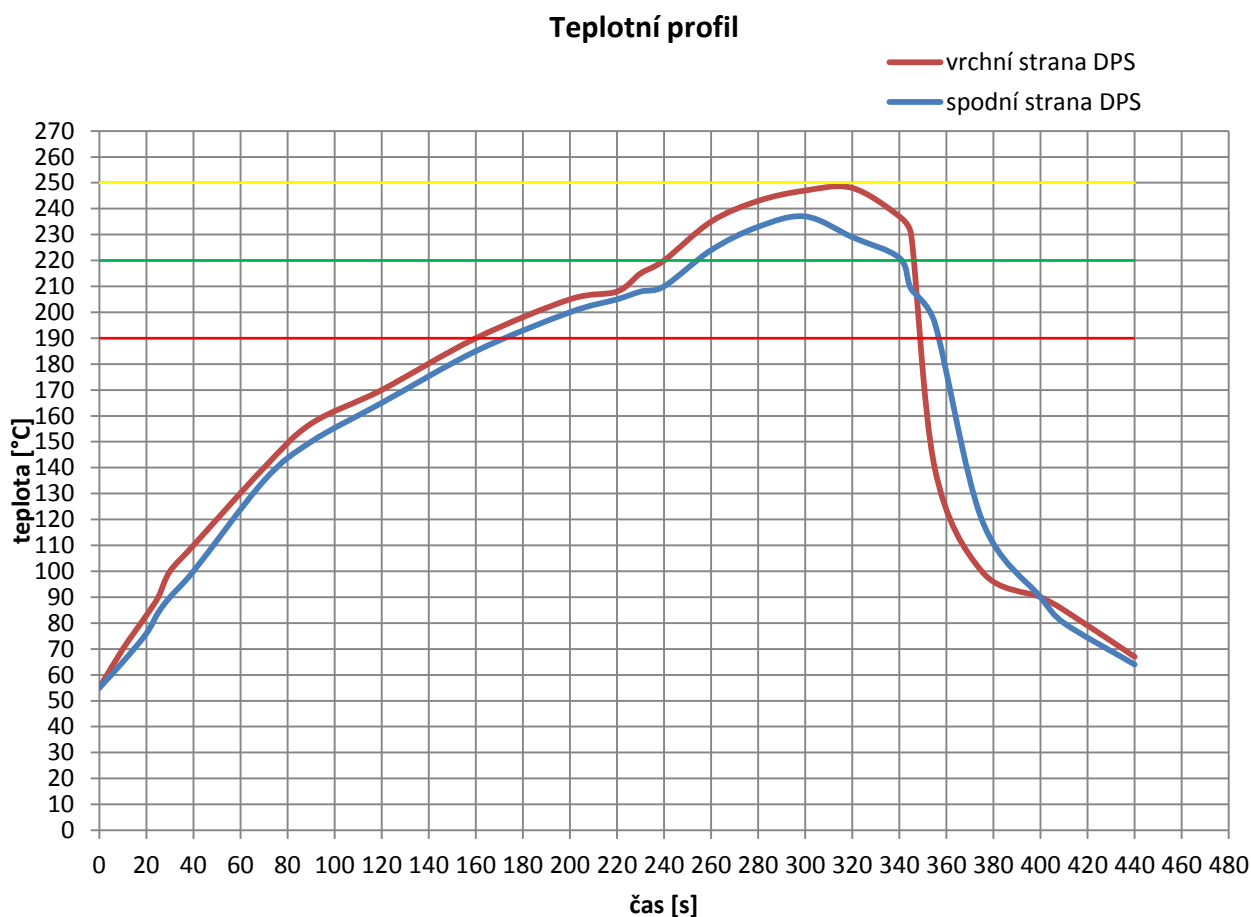
Obr. 19: Nanesená pájecí pasta přes šablonu

Osazená pouzdra byla přetavena v horkovzdušné kompaktní peci RO300FC, která je vyhřívána výhradně vertikálním prouděním vzduchu, což zaručuje stejnou rychlost ohřevu všech komponentů. Teplota pece byla nastavena podle výrobce pasty z technického listu.

Horkovzdušná pec musí být nastavena na požadovaný teplotní profil, při kterém bude brán ohled na okolní faktory jako je velikost DPS, množství a velikost osazených pouzder. Na Obr. 20 je zobrazen skutečný tepelný profil měřený termočlánky z horní a ze spodní strany DPS. Nižší teplota na grafu odpovídá spodní straně desky. Pec s třemi zónami byla nastavena podle tabulky Tab. 12. Rychlost dopravníku byla nastavena na 300 mm/min.

Tab. 12: Nastavení teplot v horkovzdušné peci

Oblast teplotního pásu	°C
Zóna 1	180
Zóna 2	210
Zóna 3	250



Obr. 20: Skutečný pájecí profil změřený sondou s termočlánky

4.4 Test zapájených pouzder

Zapájená pouzdra je nutno nejprve vizuálně zkontrolovat na přítomnost zkratů, a zda jsou dostatečně připájena. Přítomnost zkratů kontakty mezi sebou je vidět pouhým okem nebo optickým mikroskopem. Zkraty pod pouzdrem mezi tepelnou ploškou a nožičkami lze zjistit multimetrem proměřením pomocných kontaktů na naší testované DPS. Ve velkosériové výrobě se kontrola po zapájení provádí rentgenem stejně jako pouzdra BGA. V následující tabulce Tab. 13 je souhrn pouzder s přítomností zkratu.

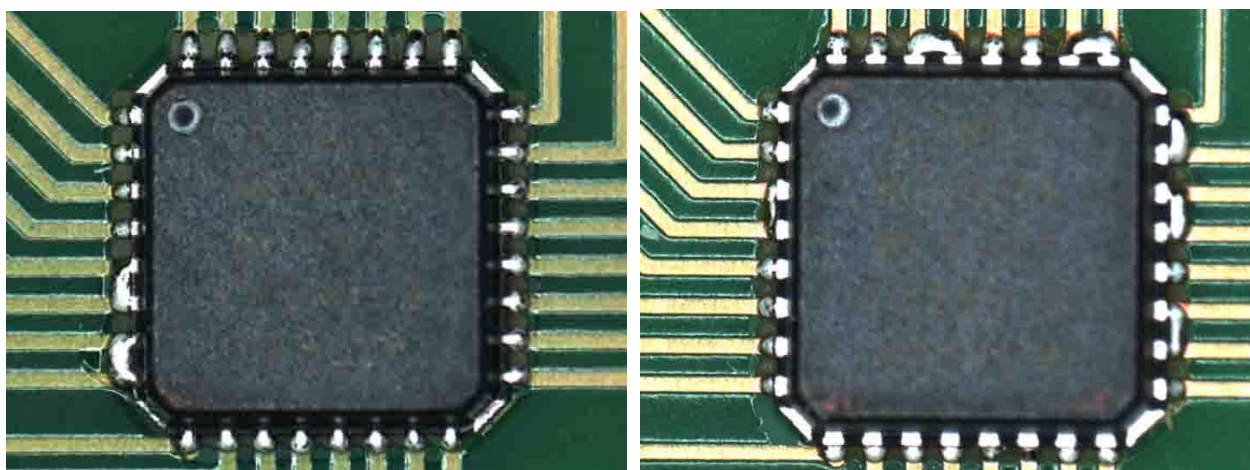
Celkový počet testovaných DPS se zapájenými pouzdry bylo 40 ks. Z celkového počtu měla polovina pod tepelnou ploškou prokovy propojené na druhou stranu substrátu a druhá polovina byla bez prokovů.

Tab. 13 Počet kusů pouzder s přítomností zkratu

pouzdro	motiv šablony a)		motiv šablony b)		motiv šablony c)		motiv šablony d)	
	s prokovy	bez prokovů	s prokovy	bez prokovů	s prokovy	bez prokovů	s prokovy	bez prokovů
MLF32	2	2	3	1	4	1	1	0
QFN24	2	0	2	0	3	0	0	0
UQFN28	0	0	2	0	0	0	0	0
QFN16	0	0	0	0	2	0	0	0

V tabulce jsou všechny kusy s přítomností zkratu. Dvě pouzdra MLF32 jsou zkratované z důvodu špatného návrhu šablony pro kontakty. V programu EAGLE verze 6.5.0. byly apertury pro pájecí pastu stejně velké jak měděné kontaktní plošky a po přetavení nadbytek pájecí pasty způsoboval zkraty mezi kontakty Obr. 21. Tyto dvě pouzdra jsou v tabulce zahrnuty také a je to MLF32 s motivem c) s prokovy a bez prokovů.

Po zapájení dvou DPS s těmito pouzdry byl přepracován návrh a byla vyrobena nová šablona. Rozměr apertury by měl být 75 – 90 % velikosti pájecí plošky. Nová šablona má parametry zaznamenané v Tab. 14, s kterou bylo natištěno zbylých 38 testovacích substrátů.



a)

b)

Obr. 21: MLF32 - zkrat: a) s prokovy, b) bez prokovů

Tab. 14 Parametry pro návrh výroby nové šablony .

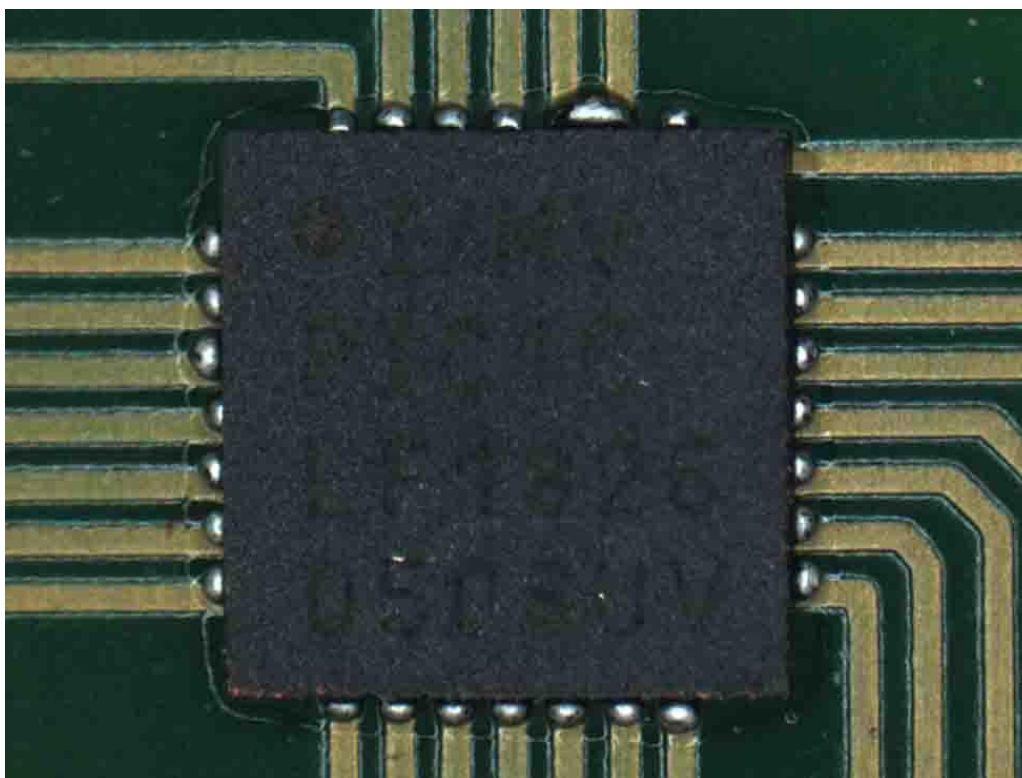
	MLF32	QFN24	UQFN28	QFN16
Nejmenší apertura [μm]	238	200	200	250
Vzdálenost apertury od okraje plošky [μm]	32	25	25	25
Šířka měděného kontaktu DPS [μm]	300	250	250	300
Zaplnění pájecí plošky pastou [%]	79 %	80 %	80 %	83 %
Šířka kontaktu na pouzdře [μm]	200	250	250	250

Přepřpracovaný návrh šablony stále vyhovuje tisku s pájecí pastou typu 4 (AFM-48W TM-HP). Z Tab. 13 lze vypočítovat nejčastější výskyt zkratů objevujících se u substrátu s prokovy.

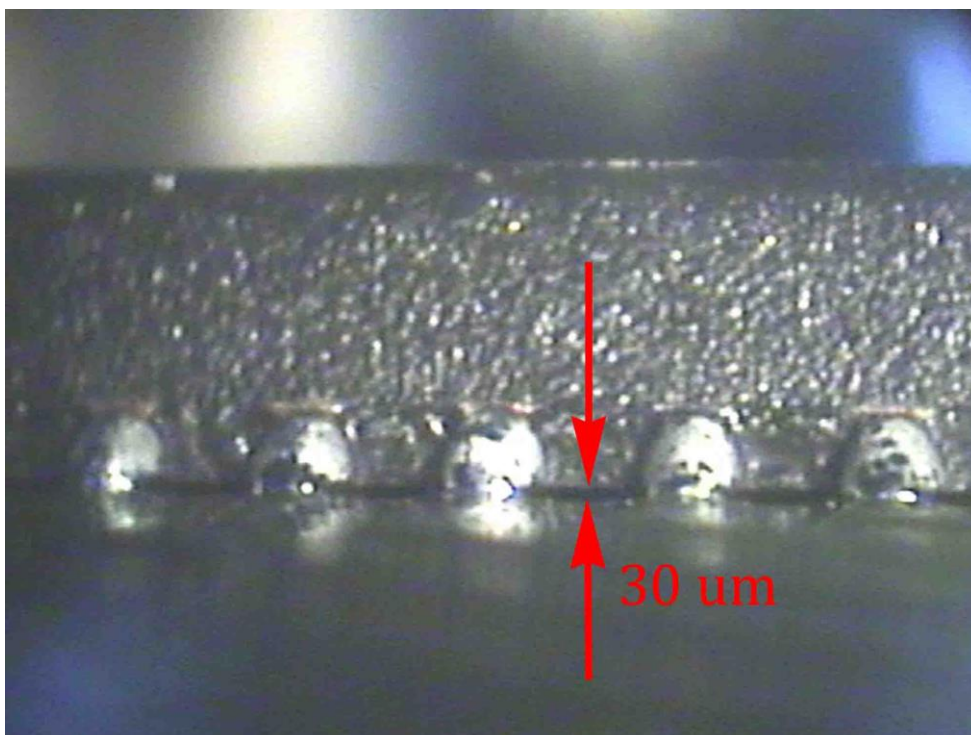
Otvory s prokovy jsou příliš velké, je zapotřebí menších otvorů v základním substrátu DPS. Při výrobě se do menších vrtaných otvorů dostane galvanická měď, která v ideálním případě zaplní otvory téměř celé. Tímto se docílí malého vztlínání roztavené pájecí pasty do otvorů. V opačném případě se pasta vztlíná z plošky pro odvod tepla do prokovů, a to způsobí úbytek pasty v daném místě. Povrchovým napětím se pouzdro přitáhne blíže k povrchu substrátu a vytlačí pastu z kontaktů. Čím větší je pouzdro, tím je větší problém s povrchovým

napětím a úbytkem pasty do prokovů. Poměr povrchového napětí u menších mezi tepelnou ploškou a vývody není tak velký jak u pouzder větších.

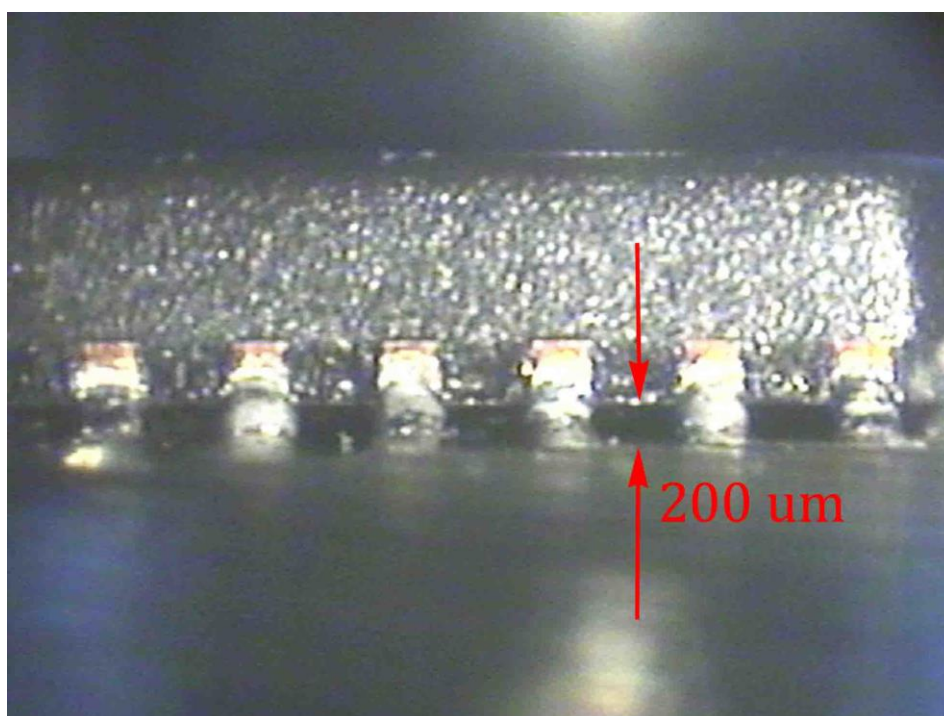
Při použití stejně velkých pouzder, jsou náchylnější na zkraty pouzdra typu PUNCH. Po zapájení je spoj viditelný z boční strany a pak snáze dojde ke zkratu. Pouzdro typu „E“ má kontakty pouze ze spodní strany a po zapájení by z boku součástky nemělo být vidět mnoho pasty. Jakmile se pouzdro přitáhne k substrátu povrchovým napětím, přebytečná pasta se vytlačí do stran na kraj kontaktu. Větší množství nahromaděné pasty způsobuje zkraty mezi sousedními kontakty. Zkraty po stranách pouzdra „E“ nebývají tak časté, jelikož povrchové napětí má tendenci vtahovat přetavenou pájku zpátky ke kontaktu. U tohoto pouzdra není na kontaktech z boční strany povrchová úprava. Vytlačený nadbytek pájky tvoří na okrajích kontaktu kuličky Obr. 22. Standardní konkávní tvar zde není patrný. Na Obr. 23 a Obr. 24 je výstup z přístroje Ersascope pro analýzu zkratů pod BGA. Vzdálenost od substrátu bez prokovů je přibližně 120 μm . Testované DPS které měly tuto vzdálenost mezi pouzdem a substrátem, neměly se zkraty problémy. Substráty s prokovy měly mezery od pouzder menší nebo vůbec žádné, a to zvyšuje náchylnost pro zkraty mezi kontakty.



Obr. 22: Připájené pouzdro QFN28 na substrátu s prokovy



Obr. 23: Vzdálenost pouzdra od substrátu s prokovy



Obr. 24: Vzdálenost pouzdra od substrátu bez prokovů

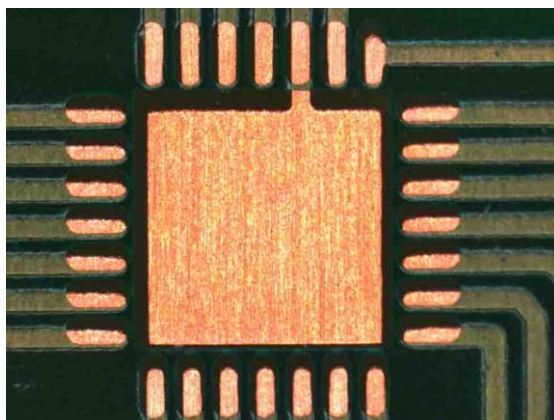
Provedení optické kontroly přístrojem pro SMT inspekci nazvanou ERSASCOPE který je na Obr. 25 a je dostupný v laboratořích UMEL (Ústav mikroelektroniky). Provádění inspekční kontroly umožňuje použití vyměnitelných optických hlavic na přizpůsobení optimálního pohledu na kontakty z boční strany a částečně pod pouzdro. Přístroj se používá na inspekci pouzder Flip Chip, BGA, CSP a 0201.



Obr. 25 ERSASCOPE – optická inspekce

Zkratky jsou ovlivňovány i výrobními limity společností, která DPS vyráběla. Testovací DPS má přesahy nepájivé masky přes kontakty vzniklé špatným sesouhlasením vrstev při výrobě, nicméně jsou v toleranci limitu. Výrobní limity jsou dány IPC-A-600G a související normou ČSN EN 123100. Dle normy musí být zaručeno na pájecích ploškách SMD přesah nepájivé masky maximálně 0,05 mm za hranu pájecí plošky. Chyba v umístění nepájivé masky vůči měděnému spoji v libovolném směru musí být menší než 0,15 mm. Na Obr. 26 je

vidět odchylka, která je v limitu specifikací a při návrhu s touto odchylkou je počítáno. Nepájivá maska je od kontaktu 0,025 mm větší z každé strany.

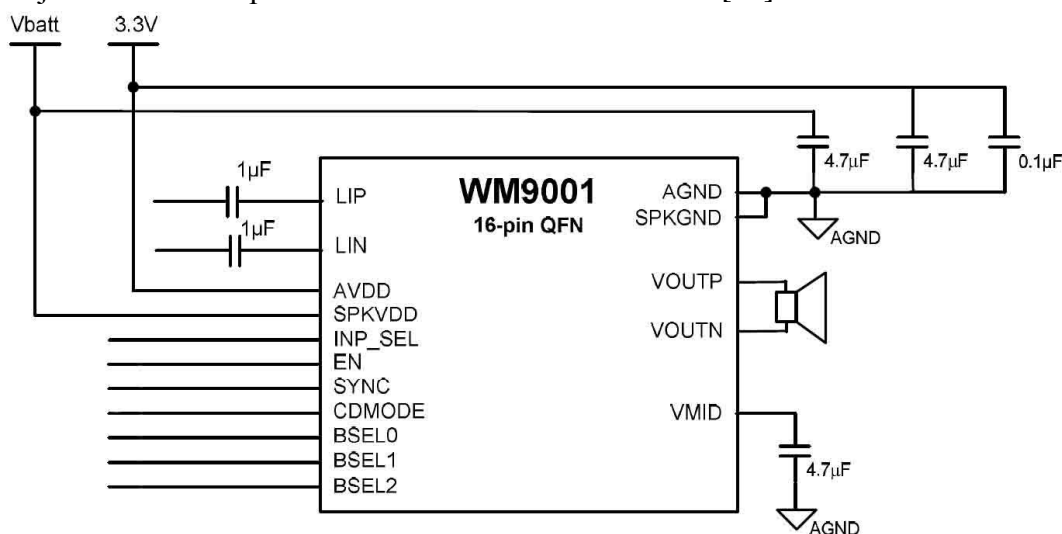


Obr. 26: Vytvořená DPS s nepájivou maskou

4.5 Funkční test pouzdra QFN16

Po předchozí kontrole přítomnosti zkratů se ověří funkční test jednoho z obvodů, zda je použitelný v praxi, pokud nebyl při procesu pájení nějak poškozen. Byl vybrán testovací vzorek označený d/8 bez prokůvů a vzorek d/5 s prokovy. Jedná se o vzorky s použitou šablonou, viz Obr. 13 d).

Obvod v pouzdře je 1 W zesilovač používaný v přenosných zařízeních, jako jsou telefony, rádia a jiná malá zařízení. Výrobce Wolfson microelectronics značí obvod (1W Dual-Mode Class AB/D Speaker Driver – WM9001. Pro funkční zatížení byl obvod zapojen dle následujícího schématu převzatého z datového listu obvodu. [51]



Obr. 27 Základní schéma zapojení obvodu Speaker Driver - QFN16 [51]

Obvod byl napájen napětím 5 V (V_{batt}) a zapojen ve třídě AB s nejvyšším výkonem tak, aby se nejvíce zahříval. Jako zdroj napětí byl použit zdroj od spol. Xantrex. Kontaktem INP_SEL byl zvolen jednovstupový mód logickou jedničkou tj. 3,3 V. Pro stabilizaci napětí 3,3 V byl použit regulátor napětí PL2950CZ-3,3. Kontakt EN byl připojen na logickou 1, a tím byl povolen vnitřní hodinový signál. Kontakt SYNC byl zvolen pouze v zapojení třídě D, byl připojen na logickou 0 tj. na zemnicí svorku GND. Vývod od kontaktu CDMODE byl připojen na logickou 1, tímto bylo zvoleno, v jakém pracovním módu bude obvod pracovat, a to je mód AB. Míra zesílení byla zvolena vývody BSEL0 až BSEL2. Pro nejvyšší zesílení byl BSEL0 připojen na logickou 1, BSEL1 na logickou 0, BSEL2 na logickou 1.

Generátor sinusového signálu byl připojen na vstup LIP s napětím 1,66 V špička špička s frekvencí 1 kHz. Na výstupu mezi VOUTP a VOUTN byl připojen místo reproduktoru rezistor s hodnotou 8R2.

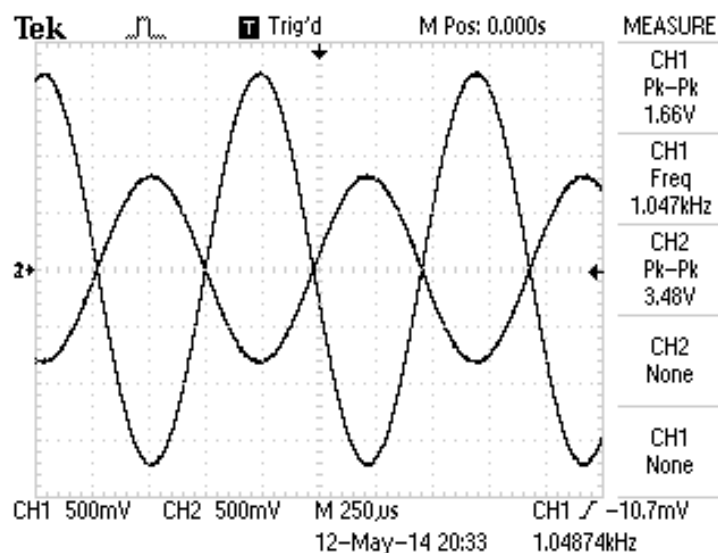
Tab. 15 Souhrn zapojených kontaktů na pouzdře.

Značení kontaktu	Číslo kontaktu	Log. hodnota
INP_SEL	16	1
EN	14	1
SYNC	5	0
CDMODE	7	1
BSEL0	10	1
BSEL1	11	0
BSEL2	12	1

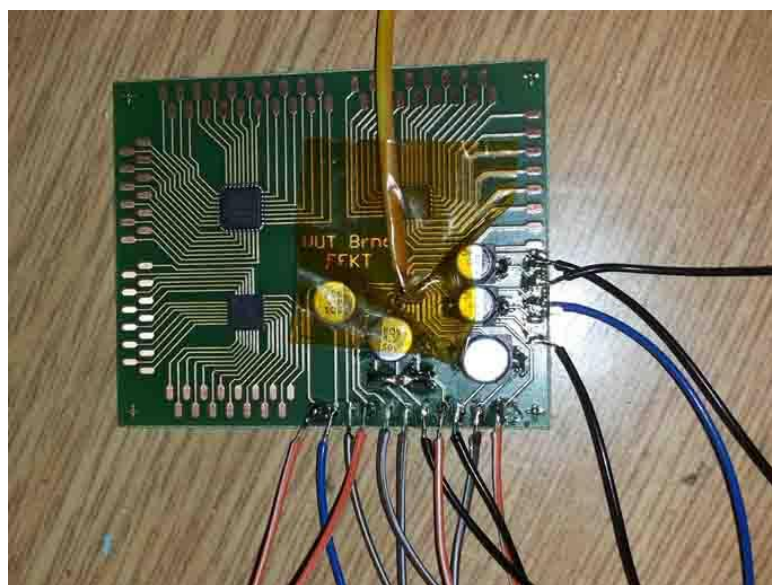
Na vstup a na výstup byly připojeny sondy osciloskopu a byl pozorován průběh zesílení. Na výstupu měřeném na rezistoru bylo naměřeno napětí 3,48 V špička špička. Výstup z osciloskopu je vidět na Obr. 28. Pouzdro bez zkratů, je tedy plně funkční a zesiluje průběh sinusového signálu.

Obvod byl změřen a po stabilizaci teploty obvodu v prostředí o teplotě 20 °C cca po 30 minutách byla změřena teplota na povrchu pouzdra. Testovaná deska bez prokovů, značená 1/8 měla teplotu na povrchu pouzdra 49,8 °C. Lepších výsledků na odvod tepla vykazovala testovací deska s prokovy a to 39,7 °C. Prokovy snížily teplotu o 10,1 °C, což má pozitivní dopad na životnost součástky. Pouzdro má v datovém listu uvedeno provozní teplotu od -40 °C do 85 °C, ale zbytečným ohříváním součástka stárne a u pájeného spoje se zhoršují vlastnosti. Odebíraný proud měly obě pouzdra stejný, a to 0,29 A.

Na Obr. 29 je testovací deska s připojeným termočlánekem a osazenými kondenzátory.



Obr. 28 Průběh vstupu a výstupu na osciloskopu.



Obr. 29 Testovací deska osazená kondenzátory a termočlánekem.

Rozdíl teplot funkčně zapojených pouzder byl otestován ještě u vzorků s motivem pájecí pasty a), b), c) z Obr. 13. V Tab. 16 je souhrn naměřených teplot pouzdra QFN16. Dle změřených výsledků lze říci, že motiv šablony nemá vliv na teplotu pouzdra, ale má vliv na volbu substrátu. Substrát s prokvy vyvedené na spodní stranu lépe odvádí teplo z pouzdra do DPS. Pouzdra s prokvy mají v průměru 38,3 °C a bez prokvů 49,5 °C. Rozdíl teplot testovaných vzorků s prokvy a bez prokvů je 11,2 °C.

Tab. 16 Souhrn naměřených teplot na pouzdře QFN16.

DPS	Motiv a)	Motiv b)	Motiv c)	Motiv d)
S prokovy [°C]	37,5	38,0	37,8	39,7
Bez prokovů [°C]	50,1	50,1	48,0	49,8

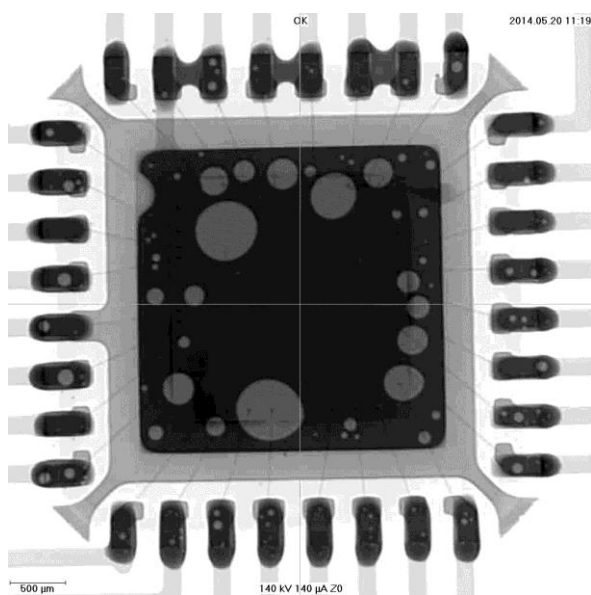
4.6 Rentgenové snímky testovaných DPS

Firmy zabývající se pájením QFN a BGA pouzdry provádějí kontrolu kvality pájení výhradně x-ray zářením. Pod pouzdra je obtížná dostupnost a za přítomnosti chladičů na desce a dalších větších komponentů je kontrola prakticky nemožná nebo velice zdlouhavá. Testovací deska byla navržena tak, aby kolem ní byl dostatek prostoru. Pro porovnání s rentgenovými snímky byly pořízeny snímky pomocí optického mikroskopu s kamerou.

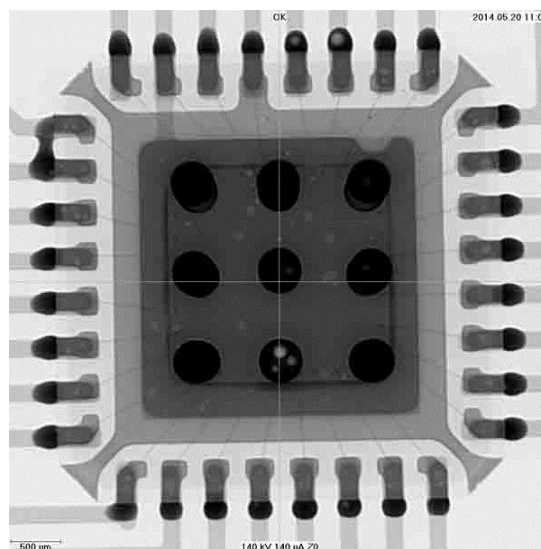
Rentgenové snímky byly pořízeny na ústavu telekomunikací. Z důvodu nákladného provozu rentgenu bylo diagnostikováno pouze omezené množství testovacích DPS. Bylo vybráno od každého druhu motivu jedna deska a to a), b), c) a d) s prokovy a bez prokovů. Byla také zrentgenována pouzdra s přítomností zkratu, které byly předem zjištěné multimetrem. Rentgen nám ukázal místa, kde bylo nejasné, zda je zkrat pouze mezi kontakty nebo zda se vyskytuje i mezi tepelnou ploškou a kontaktem.

Na Obr. 30 je pořízený snímek z rentgenu, je to stejné pouzdro MLF32 jako na Obr. 31 pořízený optickým mikroskopem. Jsou zde zřetelně vidět zkraty mezi kontakty. Výsledný přehled zkratů vzniklých při procesu pájení byl již zmíněn v tabulce Tab. 13 v kapitole 4.4. Na snímku je vidět správné umístění pouzdra na kontakty a na plošce pro odvod tepla jsou bílé skvrny. Místa se světlou barvou jsou nezapájená místa, vzduchové bubliny uvnitř pájky. Vzduchovým místům se říká „void“ převzaté z anglického jazyka. Jestli jsou voidy uvnitř pasty nebo na povrchu kontaktu se přesvědčíme v následující kapitole s mikrovýbrusem. Další ukázky rentgenových snímků je zobrazeno v příloze A.

Při pájení se musíme držet normy IPC-A-610E o pouzdru QFN. Norma nám říká, jaký pájený spoj může být tolerován či nikoli. Maximální přesah vývodů do stran v třídě 1 je povolen až 50 % šířky a 25 % ve třídě 2 a 3. Kritéria přijatelnosti voidů na neviditelných místech musí být stanovena mezi výrobcem a zákazníkem domluvou. Normou není upravováno jak velké množství voidů je přijatelné. Vyprazdňování v termální rovině je časté a výrobce pájecí pasty s těmito problémy neuvažuje. Cíl stanovený pro správné pájení je 100 % smáčení a žádný přesah tepelné plošky. Akceptovatelné je do 25 % šířky plošky a za defekt je považováno nad 25 % přesahu a smáčení. Kritéria přijatelnosti se může porovnávat třeba s BGA kuličkami kde je povoleno 25 % voidů v kuličce. Některé firmy jako je například Flextronics mají vnitřní nařízení akceptovatelné do 30 % voidů v pouzdře QFN.

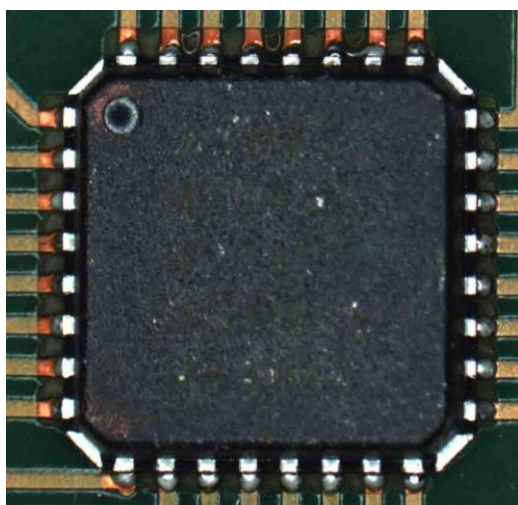


a)

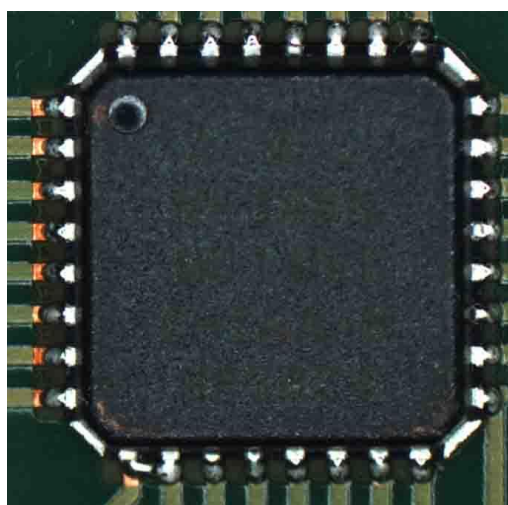


b)

Obr. 30 Rentgenový snímek pouzdra MLF: a) bez prokůvů, b) s prokůvy



a)



b)

Obr. 31 Pouzdro MLF32: a) bez prokůvů, b) s prokůvy

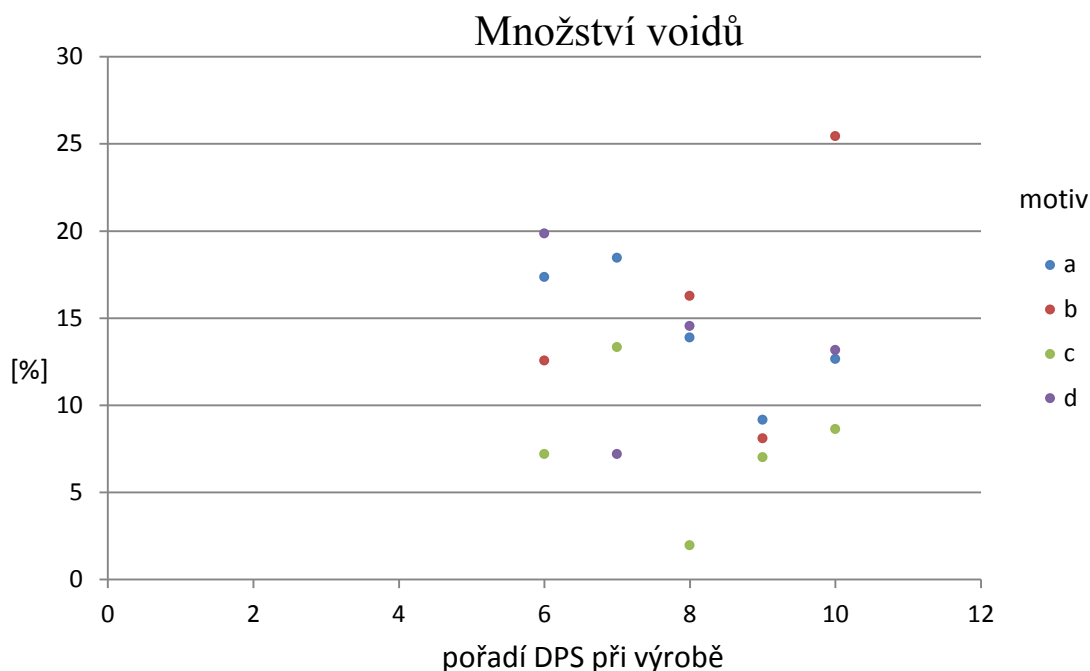
V Tab. 17 je přehled QFN16 s procentuelním množstvím voidů vzniklé při pájení plošky pro odvod tepla. Procentuelní souhrn voidů v kontaktech po obvody zde uvedené nejsou. Všechny kontakty po obvodu pouzdra měly do 10 % plochy. Tabulku lze porovnat s výsledky z mechanického testu stříhem. Čím vyšší je procento voidů tím je menší pevnost

ve střihu a je potřeba menší síla k odtržení pouzdra. Prázdná místa v tabulce nebylo možné změřit, jelikož nebyla zrentgenována všechna pouzdra kvůli finanční náročnosti nasnímaných obrázků.

Tab. 17 Přehled pouzder QFN16 kolik

	Množství voidů [%]				
a	17	18	14	9	13
b	12		16	8	25
c	7	13	2	7	9
d	20	7	15		13

Množství voidů v pájecí slitině bylo z rentgenových snímků vypočítáno pomocí programu Adobe Photoshop verze 7.0. Na Obr. 32 je graf znázorňující množství voidů na ploše.

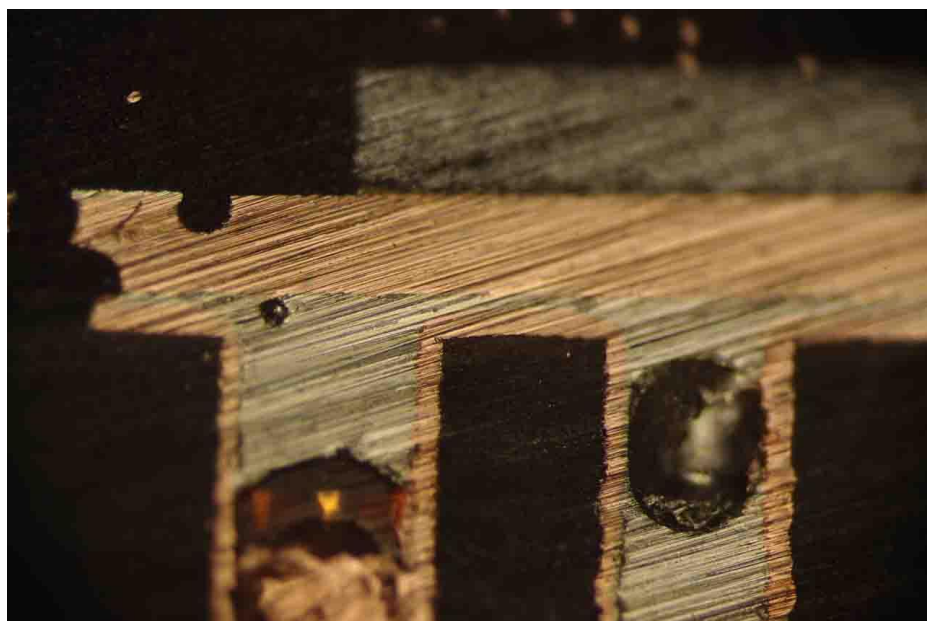


Obr. 32: Množství voidů na ploše

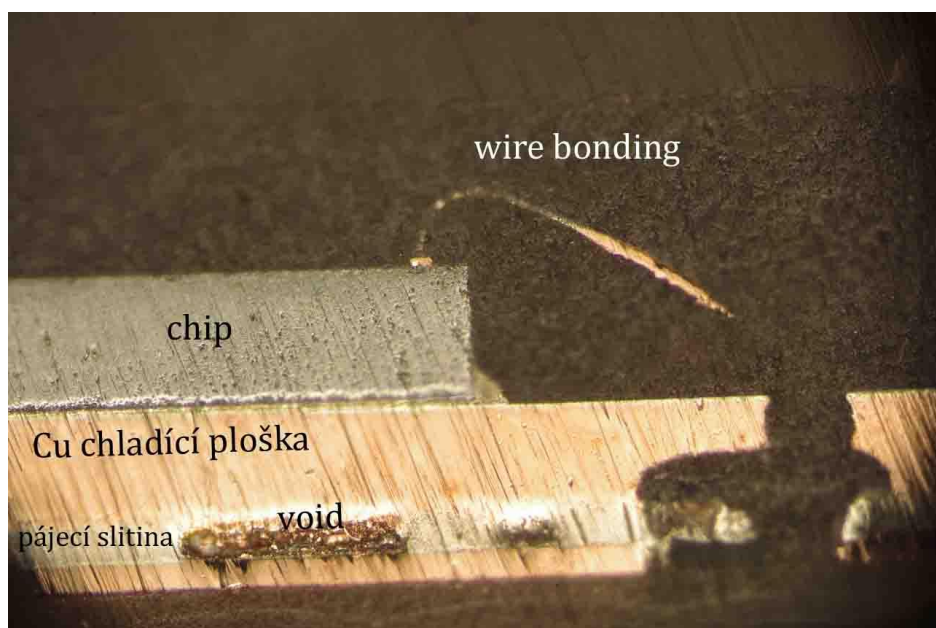
4.7 Mikrovýbrus

Výbrus pouzdra byl proveden na pouzdrech funkčně ověřených. Z mikrovýbrusu se získají informace o zapájených pouzdrech z jiného pohledu. U rentgenu nebylo zřetelné, zda je void na povrchu plošky nebo pouzdra či uprostřed roztavené pájecí pasty.

Výbrus se provede zalitím pouzdra do roztoku Dentacrylu. Do homogenizační nádoby se namíchá roztok dvousložkové metylmetakrylátové pryskyřice v poměru 1:3 a mícháme do medové konzistence. Pouzdro se opatrně zalije bez vzduchových bublin v hůře dostupných částech a nechá se do druhého dne při pokojové teplotě a vlhkosti zpolymerizovat. Po dokončení polymerizace se vzorek z formy vyjme a opláchně. Potom se může začít s mikrovýbrusem. Na hrubší výbrus ze začátku, než se probrousíme ke kraji pouzdra se použije hrubší brusný papír s hrubostí zrn 120 – 200. Potom se použije jemnější brusný papír o hrubosti 240, který je dostačující na pozorované artefakty. Při jemném výbrusu se doporučuje užití proudu vody, který omývá již obroušený materiál a celkově zlepšuje parametry výbrusu. Výsledný vybroušený vzorek pouzdra se pozoruje pod mikroskopem. Na následujících obrázcích jsou detaily z vybroušeného pouzdra.



Obr. 33: Pájka zateklá do prokovů



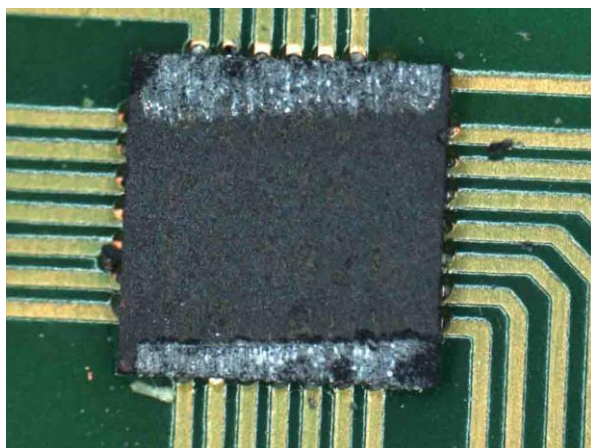
Obr. 34: Na plošce pro odvod tepla je void. Nosný substrát bez prokovů



Obr. 35: Void v pájecí slitině

4.8 Mechanické vlastnosti pájeného spoje

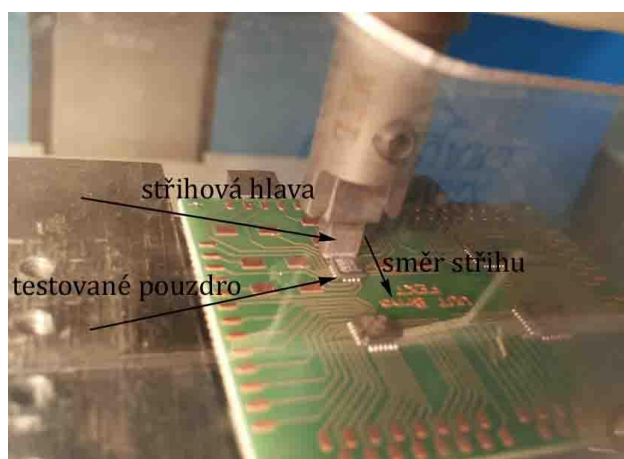
Pro měření mechanické pevnosti pájeného spoje byl zvolen test stříhem. Tato metoda je popsána normou ČSN EN 60749 – 19 jako zkouška pevnosti čipu stříhem nebo normou ČSN EN 62137 – 1 – 2 jako zkouška pevnosti ve smyku. Zkouška stříhem je osvědčená destruktivní metoda pro hodnocení nejen stupně trhlin a poškození pájeného spoje, ale i pevnosti spoje.



Obr. 36: Rozdrcené pouzdro následkem špatně nastavené výšky od nosného substrátu DPS

Parametry, které je třeba nastavit pro správné měření je výška hlavy. Podle normy musí stříhová hlava tlačit minimálně na $\frac{3}{4}$ výšky testované součástky. V opačném případě dochází k nesprávným výsledkům nebo rozdrcení hrany pouzdra viz Obr. 36. Toto nastavení je důležité, aby stříhová hlava tlačila co nejvíce do boční plochy součástky, ale přitom nesmí být příliš blízko, aby nejela po desce. Před testováním se také nastavuje rychlost hlavy. Důležitým parametrem je správné upevnění DPS. Deska se při testu nesmí posunout.

Test proběhl na zařízení DAGE PC2400, které je zobrazeno na Obr. 37. Test celé série vzorků byl proveden pouze na pouzdře QFN16 o rozměru 3x3 mm. Síla potřebná k odtržení pouzder stříhem se pohybovala kolem 20 kg. U zbylých pouzder nám zařízení DAGE PC2400 nedovolilo testovat vyšší hmotnost zatížení. U zatížení hmotností nad 25 kg se stoleček s testovanými vzorky posouval a nebylo možné test zdárně dokončit. Důvodem posunutí stolečku bylo slabé vakuum. Aby bylo možné zjistit jaké síly je třeba na odtržení ostatních pouzder, bylo nutné ručně pomoci stolečku držením velkou silou, než se pouzdro uvolnilo. Vykonat potřebnou sílu je fyzicky náročné, proto se vyzkoušelo jen jedno pouzdro od každého druhu. Parametry nastavené pro test jsou shrnuty v tabulce Tab. 18.



Obr. 37: Zařízení DAGE PC2400

Tab. 18: Parametry pro mechanický test střihu

Vzdálenost od desky	7 μm
Rychlost automatického posuvu střihové hlavy	300 $\mu\text{m}/\text{min}$
Rychlost ručního posuvu střihové hlavy	300 $\mu\text{m}/\text{min}$
Vzdálenost posunutí hlavy po odtržení	50 μm
Software limit na zatížení hlavy	50 kg

Pouzdro QFN24 o rozměru 4 x 4 mm se odtrhlo při síle 32 kg a přitom došlo k destruktivnímu odtržení pouzdra (Obr. 38) včetně odtržení kontaktů. Pouzdro UQFN28 se podařilo utrhnout celou silou 37,5 kg. Pouzdro MLF32 se utrhnout nepodařilo kvůli velké síle potřebné k uchycení stolečku. Podařilo se dosáhnout síly 38 kg, ale pouzdro se neuvolnilo. Tyto tři pouzdra byla zkoušena na nosném substrátu DPS bez prokovů. Síly potřebné k odtrhu pouzdra QFN16 jsou shrnuty v Tab. 19 a Tab. 20 a graficky znázorněny na Obr. 39.



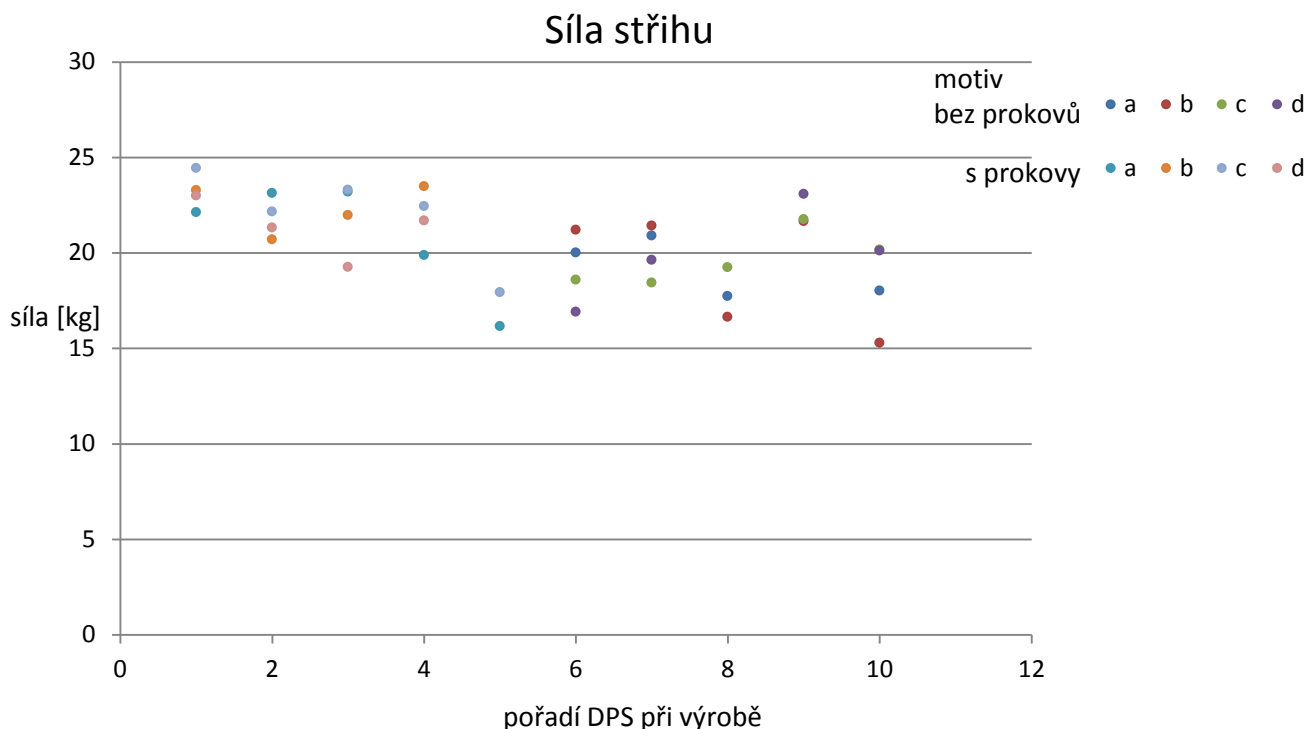
Obr. 38: Odpouzdržené QFN24

Tab. 19: Síla stříhu – použití nosného substrátu s prokovy

	Síla potřebná k odtrhu [Kg]					
	1	2	3	4	5	Φ
a	22,129	23,136	23,2	19,873	16,162	20,9
b	23,284	20,697	21,963	23,479		22,4
c	24,438	22,158	23,294	22,435	17,939	22,1
d	22,993	21,312	19,259	21,679		21,3
Celkový průměr						21,7

Tab. 20: Síla stříhu – použití nosného substrátu bez prokovů

	Síla potřebná k odtrhu [Kg]					
	6	7	8	9	10	Φ
a	20,008	20,892	17,726		18,019	19,2
b	21,193	21,41	16,641	21,649	15,283	19,2
c	18,584	18,437	19,233	21,75	20,165	19,6
d	16,91	19,622		23,074	20,112	19,9
Celkový průměr						18,5



Obr. 39: Grafické znázornění síly při odtrhu pouzdra

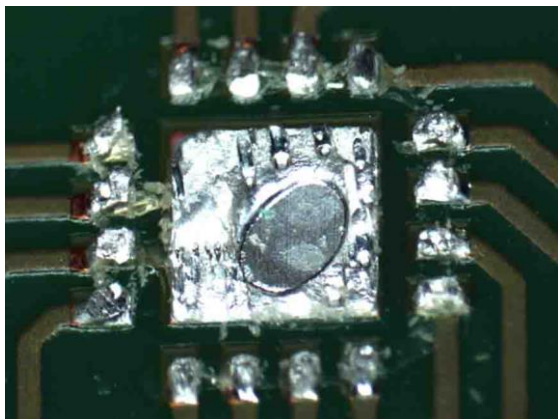
Výše zmíněné tabulky Tab. 19 a Tab. 20 nám říkají jaká síla je potřeba k odtrhu pouzdra z nosného substrátu DPS. Mechanicky pevnější se jeví pouzdra zapájená na substrátu s prokovy. Chybějící hodnoty v tabulkách jsou z důvodu technických problémů se zařízením DAGE PC2400. Ve dvou případech se vyskytla chyba utržení pouzdra a nezaznamenání hodnot do výsledků. Další dva případy d/5 a d/8 byly použity pro zkušební mikrovýbrusy.

Menší potřebná síla odtrhu pouzdra u vzorků bez prokovů byla způsobena vzduchovými mezerami způsobenými při procesu pájení po přetavení tavidla. Vzduchové mezery jsou známé z anglického jazyka jako „void“. Pouzdra použité na substrátu s prokovy problém s voidy nemají.

Rozsah poškození substrátu po mechanickém testu stříhem je u prokovů větší. Tam, kde jsou použity prokovy, je četnost odtržení měděné plošky pro odvod tepla 79 %. Odtržení pouzdra bez dalšího poškození u substrátu s prokovy se vyskytovalo u 21 %. Odtržení kontaktu a plošky pro odvod tepla se vyskytlo v 32 %

Nosný substrát bez prokovů měl problémy s voidy, po mechanickém stříhu odpadlo pouze pouzdro bez dalšího poškození desky, a to se vyskytlo u 84 % případů. Ke zničení plošek pro kontakty v tomto případě nedocházelo, ale zničení odtržením měděné plošky pro

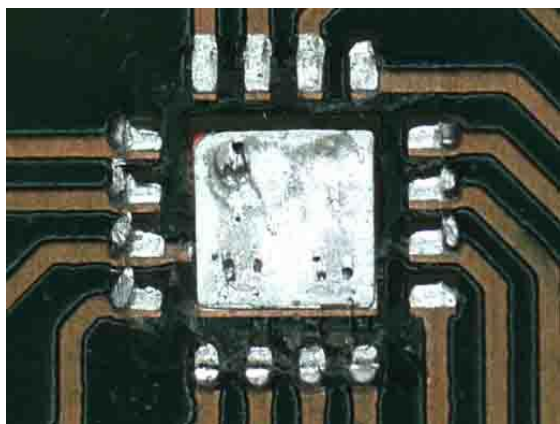
odvod tepla se stalo v 16 % případech. Na následujících obrázcích (Obr. 409-48) je ukázka mechanického zničení substrátu při testu.



Obr. 40: Odtržené pouzdro



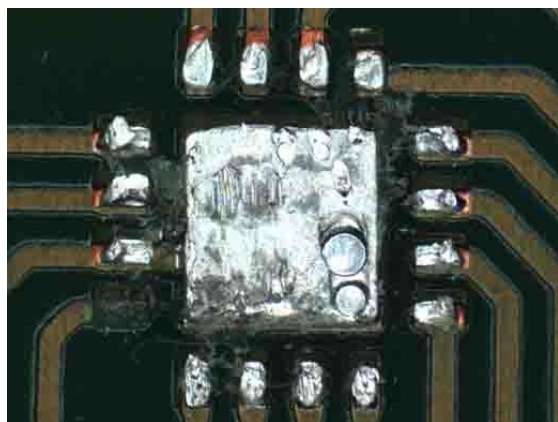
Obr. 41: Odtržená ploška pro odvod tepla



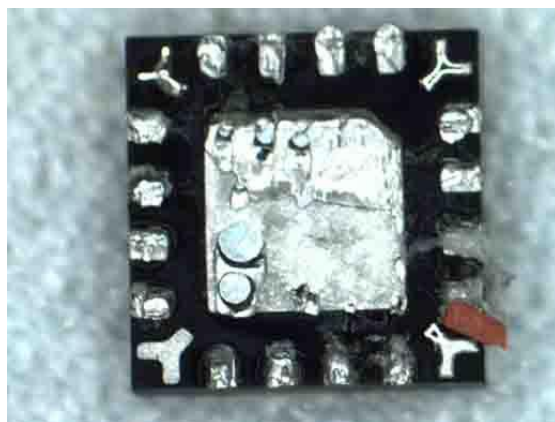
Obr. 42: Odtržené pouzdro



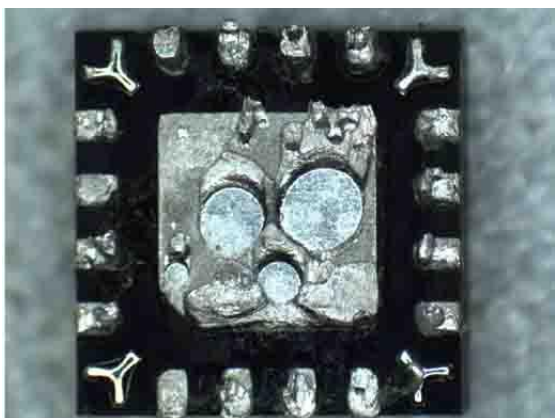
Obr. 43: Odtržená ploška pro odvod tepla



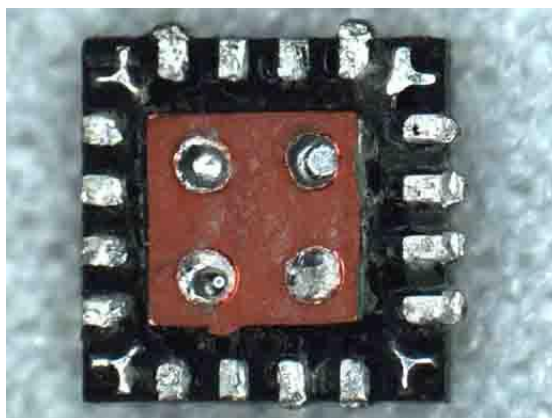
Obr. 44: Odtržené pouzdro



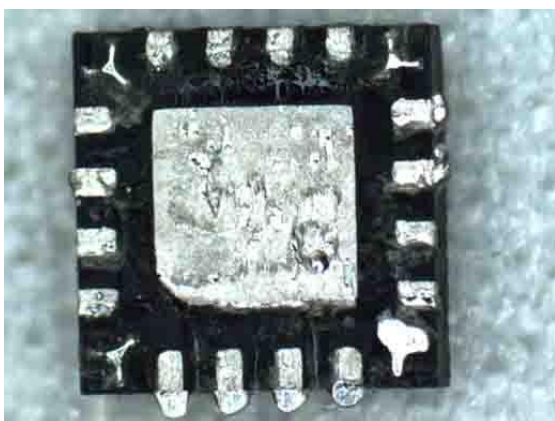
Obr. 45: Pouzdro s ploškou pro kontakt



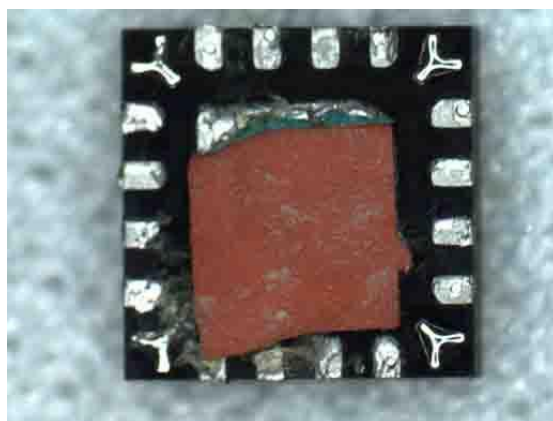
Obr. 46: Pouzdro s „voidy“



Obr. 47: Pouzdro s odtrženou ploškou



Obr. 48 Pouzdro bez přítomností voidů



Obr. 49 Pouzdro s odtrženou ploškou

5 Závěr

Cílem práce bylo vytvořit ucelenější přehled o pouzdrech QFN a optimalizovat jejich připojování pájením, což je v současné době ne zcela ujasněná oblast, neboť tyto pouzdra vykazují v řadě případů jistou nespolehlivost. QFN jsou dnes jednou z hlavních příčin poruch a následných oprav elektronických a komunikačních technologií.

V teoretické části práce jsou popsána specifika pouzder a jejich provedení. Byla vytvořena databáze existujících pouzder podobných pouzdrům QFN s kontakty ze spodní strany pouzdra. Dále byly popsány faktory ovlivňující pájitelnost pouzder.

V praktické části práce byl proveden návrh testovacího nosného substrátu DPS pro zjednodušení testování vůči zkratům. Byly navrženy šablony s rozmístěnými aperturami eliminující množství nanesené pájecí pasty. Pouzdra byla zapájena bezolovnatou pájecí pastou AFM-48W TM-HP (L) a následně testována na přítomnost zkratů. Na zapájených testovacích DPS byla provedena optická inspekce zaměřená na kvalitu pájeného spoje. Rentgenovými snímky byly zjištěny zkraty mezi kontakty a přítomnost voidů. Funkčně otestovaná pouzdra QFN byla mikrovýbrusem prozkoumána struktura pouzdra na nosném substrátu.

Bylo zjištěno, že nosný substrát s prokovy měl větší tendenci k tvoření zkratů než u substrátu bez prokovů. Větší výskyt zkratů se vyskytoval u pouzder typu PUNCH než u pouzder typu „E“. Mechanickou zkouškou stříhem bylo zjištěno větších pevností u pouzder s použitím nosného substrátu s prokovy než u substrátu bez prokovů. Z rentgenových snímků bylo vypočítáno procentuální zastoupení voidů a závislost na mechanické pevnosti.

Úplného odstranění zkratů mezi kontakty při použití nosného substrátu s prokovy je předmětem řešení navazujících projektů. Pro eliminaci zkratů by mohlo vést snížení tloušťky šablony na 100 μm a zmenšení rozměrů otvorů při procesu vrtání na co nejmenší rozměr. Úpravou parametrů by vedlo ke snížení vztlínání roztavené pájky do otvorů a pouzdro by se nepřitahovalo k substrátu v tak velkém rozsahu. Pro získání vyšší síly u mechanických testů by bylo třeba omezit přítomnost voidů. Návrh na rozdělení termální plošky vycentrovanou do středu nevedlo k odstranění voidů. Rozmístění termální plošky rozdělené na čtyři části až do okrajů plošky by mohlo vést k redukci těchto problémů. V literatuře a odborných článcích tento problém zkoušejí řešit změnou teplotního profilu. Při předeřevu se nastaví vyšší teplota na delší dobu a pak následuje vrchol teplotního profilu, ale toto je v rozporu s doporučením od výrobce pájecí pasty.

6 Seznam použitých zkratek a symbolů

QFN – Quad Flat No-Lead
DPS – Desky Plošných Spojů
PCB – Printed Circuit Board
TI – Texas Instruments
OSP - Organic Solder Preservatives
ENIG - Electroless Nickel Immersion Gold
ISJ - Inspectable Solder Joints
VFQFN - Very Thin Fine Quad Flat No Lead Package
DRMLF - Dual-Row Micro-Lead Frame Package (DRQFN)
MLF - Micro-Lead Frame
TQFN - Thin Quad Flat No-Lead Package
UTDFN - ultra-thin dual flat no-lead package (UDFN)
TDFN - Thin Dual Flat No-Lead Package
XQFN - Extremely Thin Quad Flat No Leads
XDFN - Extremely Thin Dual Flat No Leads
UTQFN - Ultra Thin Quad Flat No Leads
SMD – Surface Mount Device
CSP – Chip Scale Package
BGA – Ball Grid Array
FCH – Flip Chip

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Texas Instrument. *QFN Layout Guidelines*. [cit. 2013-12-3]. Online dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/sloa122/sloa122.pdf>
- [2] Freescale Semiconductor, *Assembly Guidelines for QFN and DFN Packages*. [cit. 2013-12-3]. Online dostupné z: http://www.freescale.com/files/analog/doc/app_note/AN1902.pdf
- [3] PCB Exchange. *QFN48 package*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.pcbexchange.com/qfn48/>
- [4] Texas Instrument. *Datasheet CC430F5137*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc430f5137.pdf>
- [5] STARÝ Jiří, KAHLE Petr, *Plošné spoje a povrchová montáž*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2003. 208str.
- [6] SEMACH, *Povrchové úpravy*. [cit. 2013-12-3]. Online dostupné z: www.semach.cz/pdf/povrchy.pdf
- [7] MILAD George. *Surface Finishing for Lead –Free*. [cit. 2013-12-3]. Online dostupné z: <http://www.uyemura.com/library-4.htm>
- [8] Maxim. *Datasheet MAX9703/MAX9704*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/53503.pdf>
- [9] Siliconfareast. *UTQFN – Ultra Thin Quad Flat No Leads*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.siliconfareast.com/utqfn.htm>
- [10] Maxim Integrated. *Datasheet MAX14576*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-D5/DSAH100086820.pdf>
- [11] PD Package. *Datasheet UTQFN16Llead*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-SW2/DSASW0034303.pdf>
- [12] PDC Package. *Datasheet UTQFN20Llead*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-SW2/DSASW0034305.pdf>
- [13] PF Package. *Datasheet UTQFN24 Lead*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-SW2/DSASW0034306.pdf>
- [14] On Semiconductor. *Datasheet NCP4587*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-SX27/DSASW0057684.pdf>
- [15] Richtek. *Datasheet RT9285*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-CRAI/DSACRA000017658.pdf>
- [16] Siliconfareast. *XDFN – Extremely Thin Dual Flat No Leads*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.siliconfareast.com/xdfn.htm>
- [17] Sony. *Datasheet CXG1404XR*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-IS36/DSA00712560.pdf>
- [18] Siliconfareast. *XQFN – Extremely Thin Quad Flat No Leads*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.siliconfareast.com/xqfn.htm>
- [19] Sony. *Datasheet CXG1194XR*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheet-071/DSA00355017.pdf>

- [20] Maxim. Datasheet MAX8630Y. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheet-01/DSA002163.pdf>
- [21] Siliconfareast. *TDFN – Thin Dual Flat No Leads*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.siliconfareast.com/tdfn.htm>
- [22] Littelfuse. *Datasheet SP1011*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-UD1/DSAUD0011179.pdf>
- [23] Maxim. *Datasheet MAX4090*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-SW2/DSASW0026463.pdf>
- [24] Siliconfareast. *UTDFN – Ultra Thin Flat No Leads*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.siliconfareast.com/utdfn.htm>
- [25] Littelfuse. *Datasheet SP002*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-UD7/DSARS0012242.pdf>
- [26] ST Microelectronics. *Datasheet TSV63X*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00233973.pdf>
- [27] Adesto Technologies. *Datasheet AT25DF041A*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.adestotech.com/sites/default/files/datasheets/doc3668.pdf>
- [28] Littelfuse. *Datasheet SP4062*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-EC3/DSAQ00333861.pdf>
- [29] Littelfuse. *Datasheet SP0524P*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-CRAI/DSACRA000010418.pdf>
- [30] Littelfuse. *Datasheet SP6002*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-UD7/DSARS0012242.pdf>
- [31] Littelfuse. *Datasheet SP3011*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-IS71/DSAH00239265.pdf>
- [32] Siliconfareast. *TQFN – Thin Quad Flat No Leads*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.siliconfareast.com/tqfn.htm>
- [33] Maxim. *Datasheet MAX9703/ MAX9704*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<http://www.farnell.com/datasheets/53503.pdf>
- [34] Intersil. *MDP0051*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/mdp0/mdp0051.pdf>
- [35] Micrel. *Datasheet MIC4126/27/28*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<http://www.farnell.com/datasheets/94465.pdf>
- [36] Atmel. *Datasheet ATtiny13*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<http://www.atmel.com/Images/2535s.pdf>
- [37] Micrel. *Datasheet SY89832U*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
http://www.micrel.com/_PDF/HBW/sy89832u.pdf
- [38] Atmel. *Datasheet ATtiny2313*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<https://www.gme.cz/img/cache/doc/958/178/attiny2313a-mu-datasheet-1.pdf>
- [39] Atmel. *Datasheet ATmega8A*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<https://www.gme.cz/img/cache/doc/958/175/atmega8a-mu-datasheet-1.pdf>

- [40] Atmel. *Datasheet ATmega644P*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-SL4/DSASL0069345.pdf>
- [41] Atmel. *Datasheet ATmega169P*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheets-UD2/DSAUD0038842.pdf>
- [42] Amkor. *Aplication Notes for Surface Mount Assembly of Amkors*. [cit. 2013-12-1].
Online dostupné z: <http://www.amkor.com/index.cfm?objectid=E1A382DF-DE6E-0406-67A2C29846561710&ei=XMKwUrHuJomphAfTsIDgAg&usg=AFQjCNGFiCfc8dnYg8dIgl2jsNG5Q2ch-A&bvm=bv.58187178,d.ZG4&cad=rja>
- [43] DANNY V. *Design and Process Optimization for Dual Row QFN*. [cit. 2013-12-1].
Online dostupné z:
http://www.utacgroup.com/library/ECTC2006_s38p05_DualRowQFN.pdf
- [44] Syworks. *Suggested PCB Land Pattern Designs*. [cit. 2013-12-1]. Online dostupné z:
<http://www.skyworksinc.com/uploads/documents/200123k.pdf>
- [45] Texas Instruments. *QFN/SON PCB Attachment*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.ti.com/lit/an/slva271a/slva271a.pdf>
- [46] Siliconfareast. *QFN - Quad Flat No Leads*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.siliconfareast.com/qfn.htm>
- [47] Energy Mirro. *Datasheet F1024/F512*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.farnell.com/datasheets/1701898.pdf>
- [48] Freescale Semiconductor. *Datasheet MMA8451Q*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA8451Q.pdf
- [49] Microchip. *Datasheet USB3343-CP*. [cit. 2014-2-10]. Online dostupné z:
<http://www.farnell.com/datasheets/1754408.pdf>
- [50] Microchip. *Datasheet* [cit. 2014-2-10] Online dostupné z:
<http://www.farnell.com/datasheets/1669469.pdf>
- [51] Wolfson microelectronics. *Datasheet WM9001*. [cit. 2014-2-10]. Online dostupné z:
<http://www.farnell.com/datasheets/525783.pdf>
- [52] ST Microelectronics. *Datasheet TSV63xA*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00233973.pdf>
- [53] Texas Instruments. *Quad Flatpack No-lead*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.ti.com/lit/an/scba017d/scba017d.pdf>
- [54] ST Microelectronics. *Datasheet*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheet-044/DSA0017602.pdf>
- [55] Texas Instruments. *Datasheet TPS84250*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps84250.pdf>
- [56] Integrated Device Technology. *Datasheet MC100ES6210*. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/dl/Datasheet-094/DSA0093293.pdf>

- [57] Szendiuch I. *Pájení bezolovnaté pájky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2004, 10s. [cit. 2013-12-17]. Online dostupné z: <http://www.printed.cz/assets/photos/pb-free.pdf>
- [58] Szendiuch I. *Povrchová montáž*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, [cit. 2014-4-10]. Online dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~szend/vyuka/bmts/07_povrchova_montaz.pdf
- [59] Almit. *Datasheet* [cit. 2014-5-1]. Online dostupné z: http://www.anatu.com/datasheet_files/LFM48W_TMHP_L_SPEC.pdf

8 Seznam obrázků

Obr. 1: Pouzdro QFN: a) Řez části pouzdra QFN; b) Náhled 3D modelu QFN 28 vývodového pouzdra [1]	9
Obr. 2: Tvar kontaktů pouzdra typu „E“ [2]	10
Obr. 3: Tvar kontaktů pouzdra typu „S“ [2]	10
Obr. 4: Pouzdro typu D s 16. kontakty (6x6 mm) [2]	10
Obr. 5: Pouzdro Punch [2]	11
Obr. 6: Tvar pájecí plošky na integrovaném obvodu a) obdélníkový tvar plošky, b) zaoblený tvar pájecí plošky – tzv. prst	11
Obr. 7: Příklad rozmístění kontaktů u pouzdra. QFN48 - MSP430F*RGZ: a) 3D zobrazení pouzdra s 48 kontakty, b) rozměry návrhu DPS, c) detail pájecí plošky a vzdálenosti mezi nimi, d) detail návrhu na teplotní plošku, e) návrh šablony pro pájecí pastu tlusté 0,125 mm.....	12
Obr. 8: Ploška pro odvod tepla: a) pájecí pasta rozmístěná do šrafovaného pole, b) nanesená pasta po celé plošce šrafování [1]	13
Obr. 9: Ishikawa diagram s činnosti ovlivňující kvalitu pájeného spoje	20
Obr. 10: Doporučený pájecí profil pro bezolovnaté pájky [57]	21
Obr. 11: Motiv pro výrobu DPS: a) vodivé cesty, b) nepájjivá maska	25
Obr. 12: Zařízení Uniprint PM Go 3V – šablonový tisk.....	27
Obr. 13: Šablona z materiálu Nerez - X5CrNi18-10 s motivem a pomocnými otvory pro uchycení do rámu	28

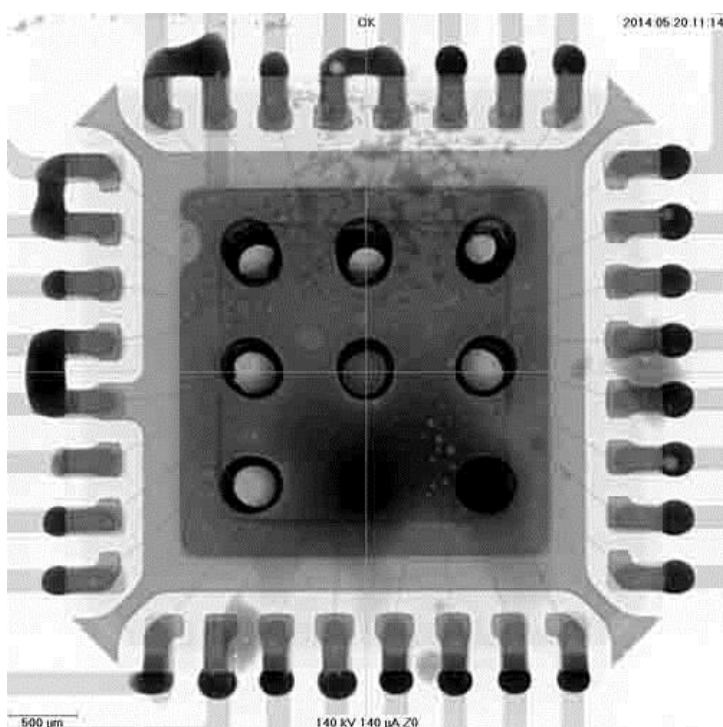
Obr. 14: Motiv vyleptaný do šablony – ploška pro odvod tepla je obsazena pastou z 80 % ...	28	
Obr. 15: Motiv vyleptaný do šablony – ploška pro odvod tepla obsazena pájecí pastou z 68 %	29	
Obr. 16: Motiv vyleptaný do šablony s nerozdělenou vrstvou pájecí pasty	29	
Obr. 17: Motiv vyleptaný do šablony – měděná ploška pro odvod tepla obsazená pájecí pastou z 68 %	30	
Obr. 18: Zařízení pro ruční osazování pouzder SMD	31	
Obr. 19: Nanesená pájecí pasta přes šablonu	31	
Obr. 20: Skutečný pájecí profil změřený sondou s termočlánky	32	
Obr. 21: MLF32 - zkrat: a) s prokovy, b) bez prokovů	34	
Obr. 22: Připájené pouzdro QFN28 na substrátu s prokovy	35	
Obr. 23: Vzdálenost pouzdra od substrátu s prokovy	36	
Obr. 24: Vzdálenost pouzdra od substrátu bez prokovů	36	
Obr. 25 ERSASCOPE – optická inspekce	37	
Obr. 26: Vytvořená DPS s nepájivou maskou	38	
Obr. 27 Základní schéma zapojení obvodu Speaker Driver - QFN16 [51]	38	
Obr. 28 Průběh vstupu a výstupu na osciloskopu	40	
Obr. 29 Testovací deska osazená kondenzátory a termočlánkem	40	
Obr. 30 Rentgenový snímek pouzdra MLF: a) bez prokovů, b) s prokovy	42	
Obr. 31 Pouzdro MLF32: a) bez prokovů, b) s prokovy	42	
Obr. 32: Množství voidů na ploše	43	
Obr. 33: Pájka zateklá do prokovů	44	
Obr. 34: Na plošce pro odvod tepla je void. Nosný substrát bez prokovů	45	
Obr. 35: Void v pájecí slitině	45	
Obr. 36: Rozdrcené pouzdro následkem špatně nastavené výšky od nosného substrátu DPS	46	
Obr. 37: Zařízení DAGE PC2400	47	
Obr. 38: Odpouzďené QFN24	48	
Obr. 39: Grafické znázornění síly při odtrhu pouzdra	49	
Obr. 40: Odtržené pouzdro	Obr. 41: Odtržená ploška pro odvod tepla	50
Obr. 42: Odtržené pouzdro	Obr. 43: Odtržená ploška pro odvod tepla	50
Obr. 44: Odtržené pouzdro	Obr. 45: Pouzdro s ploškou pro kontakt	50
Obr. 46: Pouzdro s „voidy“	Obr. 47: Pouzdro s odtrženou ploškou	51

Obr. 48 Pouzdro bez přítomností voidů Obr. 49 Pouzdro s odtrženou ploškou.....	51
Obr. 50: Rentgenový snímek se zkratem	60
Obr. 51: Rentgenový snímek bez přítomností zkratu.....	60
Obr. 52: Rentgenový snímek – množství voidů v ploše 31 %	61
Obr. 53: Rentgenový snímek – množství voidů v ploše 6 %	61
Obr. 54: Rentgenový snímek – množství voidů v ploše 13 %	62
Obr. 55: Rentgenový snímek v náklonu – částečné zaplnění prokovů pájecí slitinou.....	62

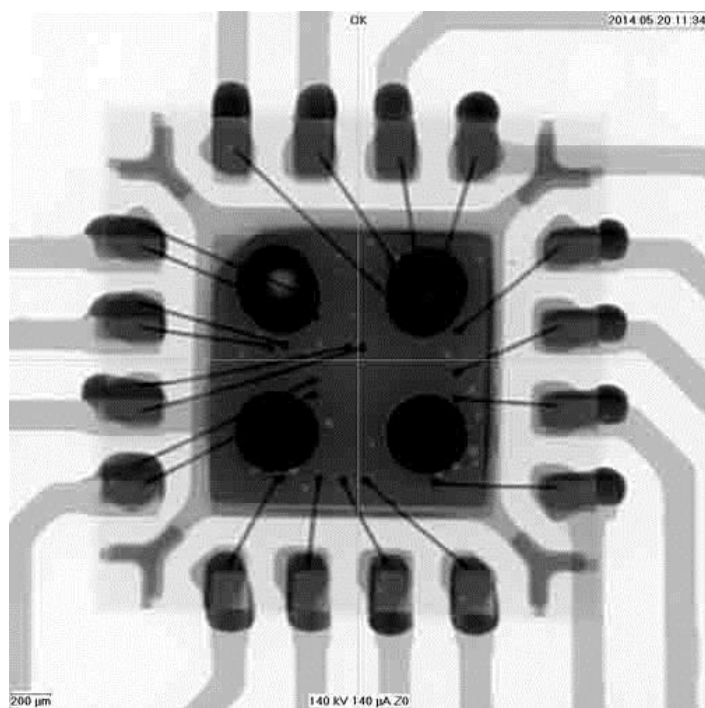
9 Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled velikostí pouzder UTQFN	14
Tab. 2 Přehled velikostí pouzder XDFN	14
Tab. 3 Přehled velikostí pouzder XQFN	15
Tab. 4 Přehled velikostí pouzder TDFN	15
Tab. 5 Přehled velikostí pouzder UTDFN	16
Tab. 6 Přehled velikostí pouzder TQFN	16
Tab. 7 Přehled velikostí pouzder MLF	17
Tab. 8 Přehled velikostí pouzder DRMLF	17
Tab. 9 Přehled velikostí pouzder QFN	18
Tab. 10 Přehled velikostí pouzder VFQFN.....	19
Tab. 11 Parametry vytvořeného substrátu.....	26
Tab. 12: Nastavení teplot v horkovzdušné peci	32
Tab. 13 Počet kusů pouzder s přítomností zkratu	33
Tab. 14 Parametry pro návrh výroby nové šablony	34
Tab. 15 Souhrn zapojených kontaktů na pouzdře.	39
Tab. 16 Souhrn naměřených teplot na pouzdře QFN16.....	41
Tab. 17 Přehled pouzder QFN16 kolik	43
Tab. 18: Parametry pro mechanický test stříhu.....	47
Tab. 19: Síla stříhu – použití nosného substrátu s prokovy	48
Tab. 20: Síla stříhu – použití nosného substrátu bez prokovů	48

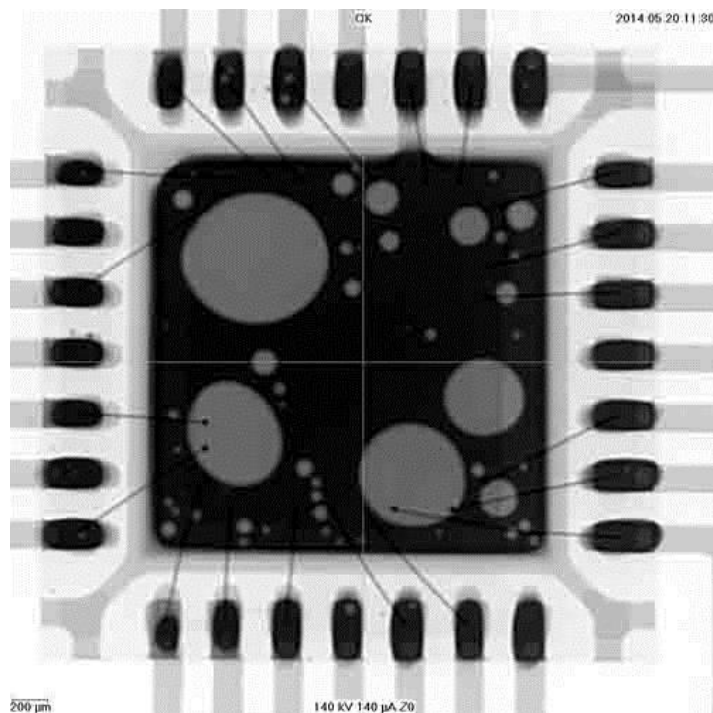
Příloha A



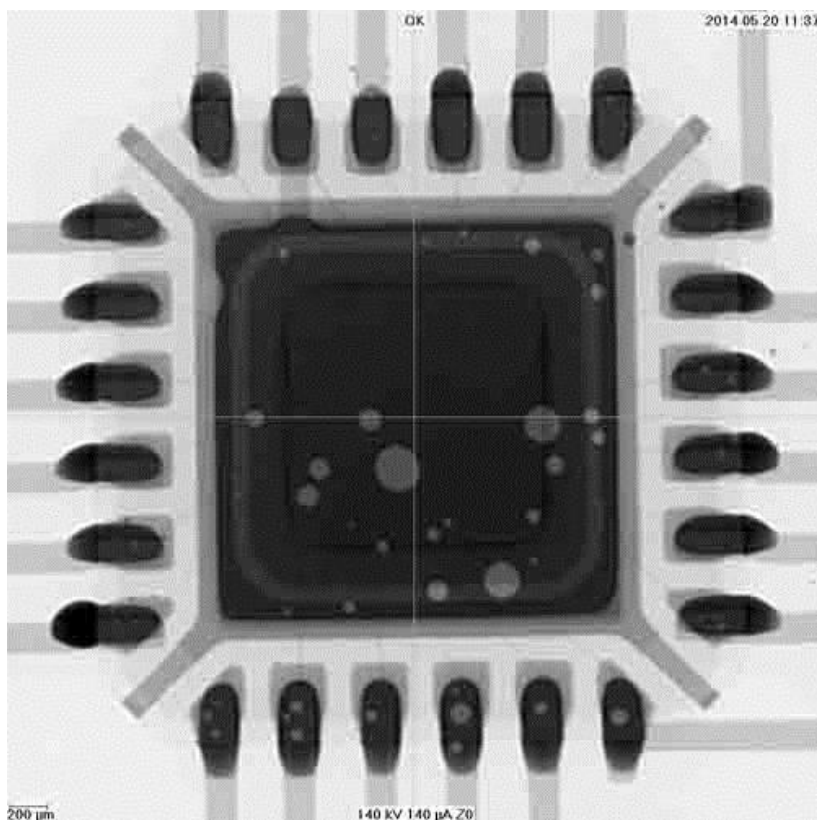
Obr. 50: Rentgenový snímek se zkratem



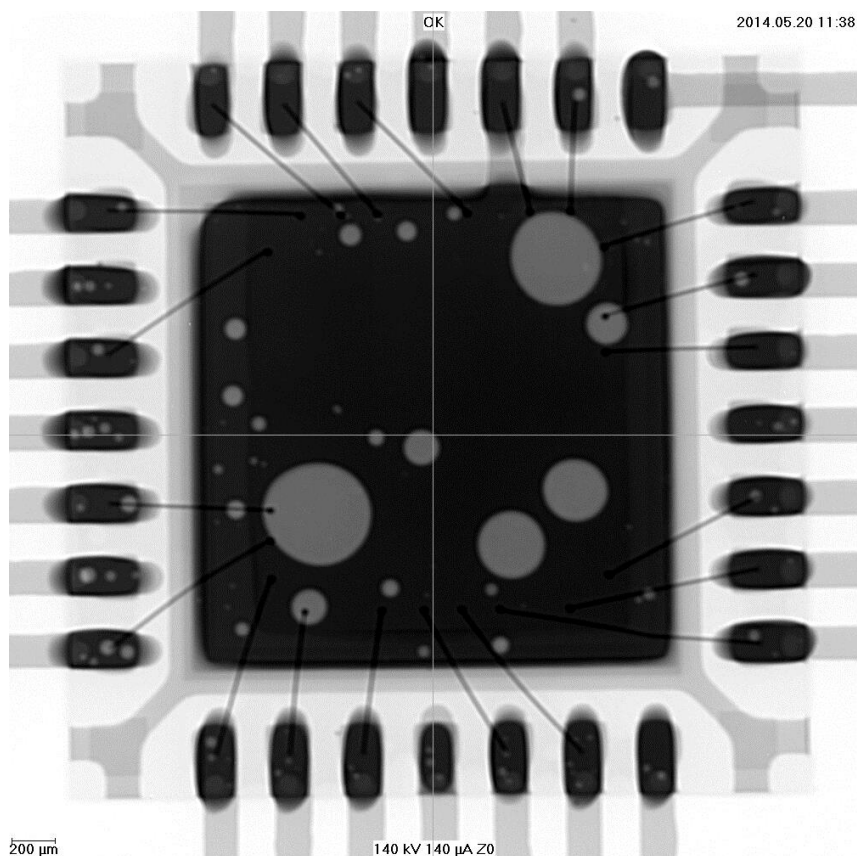
Obr. 51: Rentgenový snímek bez přítomnosti zkratu



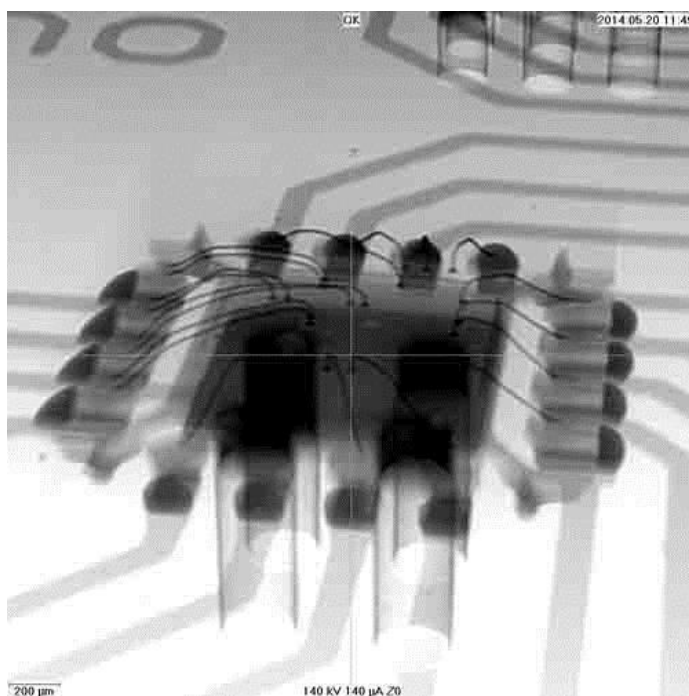
Obr. 52: Rentgenový snímek – množství voidů v ploše 31 %



Obr. 53: Rentgenový snímek – množství voidů v ploše 6 %



Obr. 54: Rentgenový snímek – množství voidů v ploše 13 %



Obr. 55: Rentgenový snímek v náklonu – částečné zaplnění prokův pájecí slitinou